

SINTEZE LYCEUM

GHEORGHE HUŢANU

ZIGZAG ÎN LUMEA OPTICII

EDITURA ALBATROS





SINTEZE LYCEUM

GHEORGHE HUȚANU

ZIGZAG ÎN LUMEA OPTICII



EDITURA ALBATROS • BUCUREȘTI • 1986

PREFAȚĂ

Știința și tehnica au înregistrat și continuă să înregistreze uimitoare progrese, cunoscînd, astfel, o evoluție fără precedent, grație noilor și numeroaselor descoperiri, mai mult sau mai puțin remarcabile, cu aplicații practice dintre cele mai neașteptate. Aceasta impune o informare permanentă a celor preocupați de cunoașterea la zi a acestor uluitoare progrese, a celor interesați să transpună în practică, în limita posibilităților lor, a noilor cuceriri, precum și a celor dornici de a cunoaște explicarea fenomenelor întîlnite în viață, cunoașterea reprezentînd o trăsătură caracteristică omului. Această sete de informare cunoaște o dezvoltare continuă, ascendentă, la marea majoritate a oamenilor.

Noile cuceriri ale științei și tehnicii nu sînt, însă, totdeauna accesibile tuturor, ele fiind cuprinse doar în tratate și manuale universitare, sau chiar în unele manuale de liceu, însă foarte succint, tratarea lor făcîndu-se cu ajutorul aparatului matematic, uneori destul de complicat. De aceea, trebuie găsită modalitatea de a le face cunoscute într-un mod accesibil, folosind un stil fără prețiozități, dar nu lipsit de rigoarea științifică ce trebuie să caracterizeze orice lucrare, indiferent de nivelul ei și de cititorii cărora li se adresează.

Din aceste considerente a luat naștere cartea de față, dorința autorului fiind, pe de o parte de a face cunoscută explicarea multor fenomene care țin de domeniul opticii, iar pe de altă parte, de a expune pe înțelesul unui larg cerc de tineri cititori — elevi ai diferitelor școli și licee, precum și studenți de la facultățile la care fizica nu figurează în planul de învățămînt —, unele probleme din acest domeniu, ele nefiind tratate astfel în nici un manual sau curs. Precizăm că în lucrarea de față nu s-au folosit formule sau demonstrații matematice. De aceea, munca autorului nu a fost deloc ușoară. O muncă laborioasă

a necesitat și selectarea materialului, pentru a cuprinde cele mai importante probleme și fenomene, cel mai adesea întîlnite în natură, precum și expunerea lor la un nivel accesibil diverselor categorii de cititori, unele dintre ele constituind subiectul unor discuții pasionante. Și asta pentru că optica reprezintă un domeniu al fizicii care își manifestă utilitatea în diverse compartimente ale activității omenești. Astăzi nu există ramură de activitate în care optica, într-un fel sau altul, să nu fie implicată, începînd cu banala lanternă portativă, vizorul sau aparatul de fotografiat și terminînd cu aparate foarte complexe ca: microscoape (optice, electronice, ionice, protonice), stiloscoape, spectrografe, microfotometre ș.a. Fără optică este de neînchipuit activitatea în domeniul medicinii, biologiei, industriei moderne; sau, telescoapele refractoare (lunetele) și telescoapele reflectoare, fără de care nu s-ar putea înregistra nici cele mai neînsemnate progrese în astronomie și astrofizică, apoi binoclurile, periscoapele, și telemetrele, folosite mai ales în navigație, fibrele și cablurile optice, laserii, holografia, cristalele lichide și multe altele, cu aplicațiile lor practice, adesea imprevizibile.

Prezenta lucrare nu este un manual *și nici nu-și propune să* substituie vreun manual, *ci doar să completeze cunoștințele cititorilor dornici de a fi informați asupra noului cît mai mult cu putință.*

AUTORUL

ÎN CARE SE ARATĂ LA CE SÎNT BUNE OGLINZILE PLANE

I.1. Un joc cu oglinzi

Se cunoaşte că atunci cînd o oglindă plană, O, se deplasează paralel cu ea însăşi pe o distanţă d, în O', atunci imaginea A'a unui obiect A în oglindă se deplasează pe o distanţă de două ori mai mare, $2d$, (în A'') figura I.1. Considerînd acum două oglinzi plane şi paralele între ele, aflate la o distanţă $2e$ una de alta şi aşezînd între ele, la distanţa e faţă de una dintre oglinzi, un punct obiect A, vom observa, nu fără surprindere, privind în oglinzi, sub un unghi oarecare, o multitudine de imagini, constituind un adevărat miracol. În figura I.2 se arată cele 2 oglinzi O_1 şi O_2, punctul obiect A şi formarea imaginilor multiple. Se observă că O_2 dă pentru A o imagine virtuală în A' care reprezintă obiect virtual pentru oglinda O_1, imaginea lui fiind A''. A'' constituie obiect virtual pentru O_2 corespunzîndu-i imaginea A''', ş.a.m.d. Aşezîndu-ne între astfel de oglinzi paralele (între ele), şi privind în una din ele vedem un spectacol plăcut. O infinitate de imagini! Cum putem realiza aceasta? Foarte

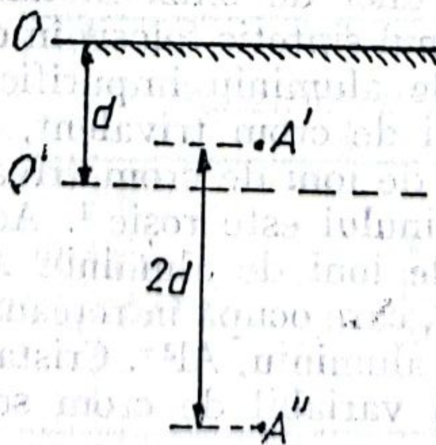


Fig. I.1

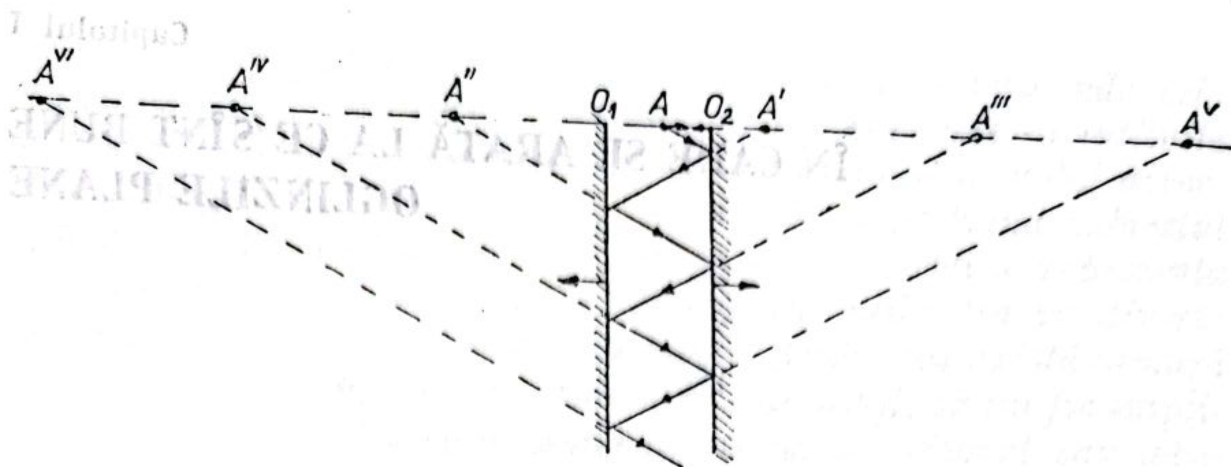


Fig. I.2

simplu. Plasăm și fixăm două oglinzi pe două uși paralele care se găsesc față în față, adică „privindu-se" reciproc. Este bine ca oglinzile să fie mari, aproape cît ușa, deoarece vor rămîne definitiv acolo. Veți avea o mare surpriză, mai ales la început, atît dumneavoastră cît și cei care vă vor vizita. De asemenea, va constitui, mai ales la început, un mare amuzament. Și încăperea va fi alta, dînd impresia de mai mult spațiu.

Într-un compartiment din biblioteca dumneavoastră, îmbrăcați pereții cu oglinzi plane și așezați cîteva bibelouri. Veți observa imagini multiple, efectul fiind spectaculos.

I.2. Ce este un rubin sintetic?

În anul 1960, fizicianul Maiman, inspirîndu-se din acest joc cu oglinzi paralele, a construit primul laser cu mediu solid, folosind un cilindru mic de *rubin sintetic*. Dar ce este rubinul sintetic? Se știe că rubinul natural este o varietate de corindon, adică un oxid natural de aluminiu (Al_2O_3), conținînd cantități mici de oxizi metalici (oxid de crom, oxid de titan). Rubinul sintetic folosit în construcția laserilor ș.a. este un oxid de aluminiu impurificat în proporție de 0,05—0,07% cu ioni de crom trivalent, ceea ce dă rubinul roz. Dacă proporția de ioni de crom trivalent este de 0,5%, atunci culoarea rubinului este roșie [1]. Aceasta înseamnă că un mic procentaj de ioni de aluminiu Al^{3+} a fost înlocuit cu ioni de crom Cr^{3+}, care ocupă în rețeaua cristalină aceleași poziții ca și ionii de aluminiu, Al^{3+}. Cristalele de rubin sintetic cu un procentaj variabil de crom se produc la scară

[1] La 100 de părți oxid de aluminiu se adaugă 2,5 părți de oxid de crom.

industrială prin procedeul Verneuil (fuziunea dintre un amestec de pudră de oxid de aluminiu și de oxid de crom la o flacără oxihidrică cu temperatura de peste 2 000°C, după care amestecul este răcit în așa fel încît să formeze cristale mari). Aceste rubine sintetice nu se deosebesc de cele naturale, cu excepția unor bule de aer microscopice caracteristice. Rubinele sintetice sînt folosite, în mod curent, ca giuvaeruri, ca lagăre („rubine") în construcția ceasornicelor și a unor instrumente electrice, precum și ca filiere pentru trefilarea sîrmei.

Cilindrul de rubin utilizat în construcția laserilor are o lungime de 20—100 mm și diametrul de 5—10 mm; fețele lui terminale sînt prelucrate optic și acoperite cu un strat de argint sau de aur, astfel încît una dintre fețe este complet opacă, iar cealaltă are o transparență de 4%. Cele două fețe plane (cele două baze) ale cilindrului sînt riguros normale pe axa cilindrului. Un astfel de cilindru de rubin sintetic a folosit Maiman, fețele terminale avînd rolul oglinzilor paralele din jocul descris mai sus. Dar să vedem cum funcționează un astfel de sistem. Mai întîi, însă, să arătăm cum se poate genera o avalanșă de fotoni.

I.3. Cum se generează o avalanșă de fotoni?

În acest scop să ne imaginăm nivelele de energie în atomi, așa cum se obișnuiește să se reprezinte în desen (fig. I.3). Printr-un procedeu numit *pompaj optic* sînt excitați atomii, moleculele sau ionii unui sistem cuantic (mediu activ), folosind fotoni de o anumită frecvență (radiație electromagnetică de o anumită frecvență). Între fotonii și atomii, moleculele sau ionii mediului are loc o interacție care duce

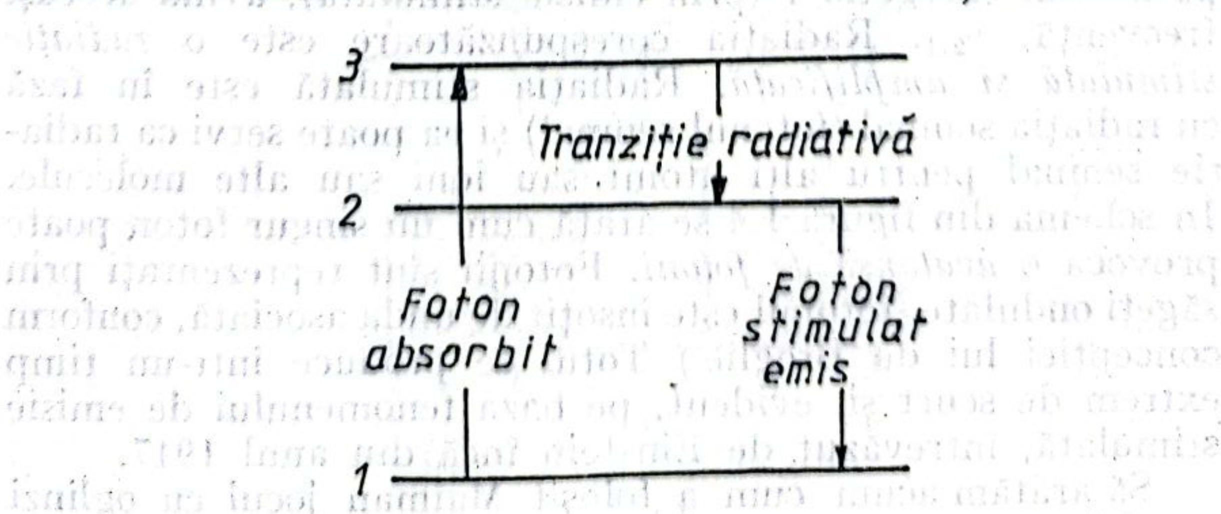


Fig. I.3

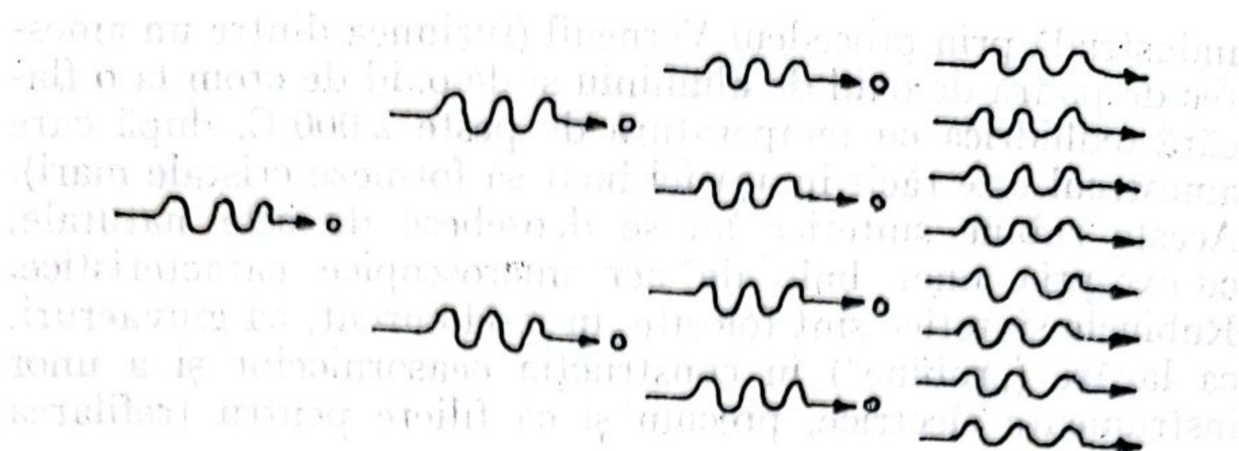


Fig. I.4

la absorbția fotonilor de atomii, moleculele sau ionii mediului și excitarea acestora ca urmare a tranziției de pe nivelul 1 pe nivelul 3, pe acesta acumulîndu-se mai mulți electroni decît pe nivelul 1 sau 2. Se spune că, în acest caz, s-a realizat o *inversie de populație* sau *pompaj optic*.

„Pompajul optic" a fost imaginat de fizicianul francez A. Kastler, pentru a putea explica fenomenul inversiei populației nivelelor de energie în atomi, molecule sau ioni. Să presupunem, pentru fixarea ideilor, că electronul trece de pe nivelul 1 pe nivelul 3 absorbind un foton (radiație electromagnetică) cu frecvența $\nu_{1,3}$. De pe nivelul 3 electronul trece prin tranziție spontană pe nivelul 2, care reprezintă un *nivel metastabil*. Pe acest nivel electronul va sta pînă cînd un foton semnal (undă semnal) cu frecvența $\nu_{2,1}$ va pătrunde în mediul în care se află atomul (atomii, moleculele sau ionii) și astfel, prin inducție, electronul va trece pe nivelul 1, atomul emițînd fotonul absorbit (incident) de frecvență $\nu_{2,1}$, plus un foton, ca urmare a tranziției de pe nivelul 2 pe nivelul energetic 1 (prin emisie stimulată), avînd aceeași frecvență, $\nu_{2,1}$. Radiația corespunzătoare este o *radiație stimulată și amplificată*. Radiația stimulată este în fază cu radiația semnal (fotonul semnal) și ea poate servi ca radiație semnal pentru alți atomi sau ioni sau alte molecule. În schema din figura I.4 se arată cum un singur foton poate provoca o *avalanșă de fotoni*. Fotonii sînt reprezentați prin săgeți ondulate (fotonul este însoțit de unda asociată, conform concepției lui de Broglie.) Totul se produce într-un timp extrem de scurt și, evident, pe baza fenomenului de emisie stimulată, întrevăzut de Einstein încă din anul 1917.

Să arătăm acum cum a folosit Maiman jocul cu oglinzi paralele în construcția laserilor. Deci,

I.4. Fotonii la lucru

Să considerăm un cilindru de rubin ca cel descris mai sus avînd, însă, ambele fețe terminale parțial transparente și să presupunem că asupra cilindrului se trimite o radiație electromagnetică verde, U_v, cu lungimea de undă de 560 nm, care pătrunde în rubin prin suprafața laterală, și simultan cu aceasta se trimite și o radiație roșie, U_r, cu $\lambda = 694{,}3$ nm, adică o radiație cu aceeași lungime de undă ca și aceea pe care ar emite-o atomii aflați în stare metastabilă prin emisie spontană, printr-una din fețele cilindrului, de exemplu fața *A* și deci paralel cu axa cilindrului de rubin (figura I.5 a, b, c). Absorbind fotonii radiației verzi, ionii de crom trec pe un nivel energetic superior, realizîndu-se inversia de populație prin pompaj optic. Din acest motiv radiația verde este numită *radiație de pompaj*. Pe nivelul superior, ionii de crom nu stau decît 10^{-8} — 10^{-9} s, după care trec pe nivelul (în starea) metastabil(ă). Numărul de ioni metastabili devine mai mare

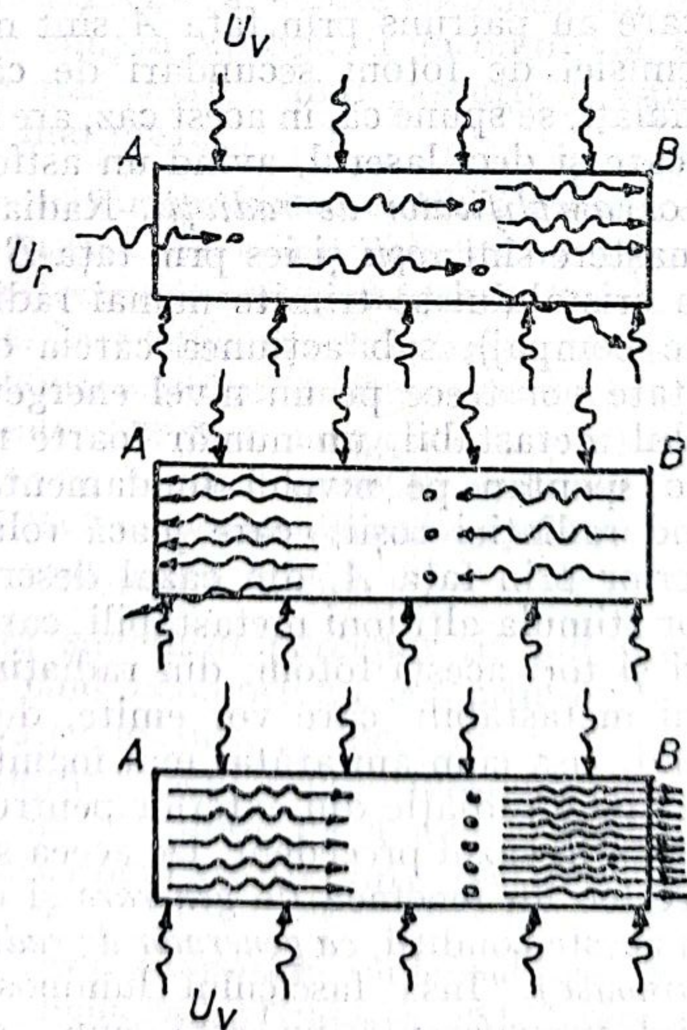


Fig. I.5

decît numărul de ioni în starea fundamentală. Tranziția pe nivelul metastabil este neradiativă, datorită interacțiunii ionilor de Cr^{3+} cu rețeaua cristalină a rubinului. Sub acțiunea fotonilor radiației roșii, care pătrund în cristal prin fața *A*, se provoacă în acesta o avalanșă de fotoni secundari emiși de către ionii metastabili astfel stimulați.

Precizăm că inversia de populație este o *condiție sine qua non* pentru producerea *emisiei stimulate*. O parte din fotonii secundari emiși de atomii metastabili au direcția de mișcare paralelă cu axa cilindrului, iar o altă parte, puțini ca număr, au alte direcții, putînd ieși prin suprafața laterală a acestuia. Fotonii care se mișcă paralel cu axa cilindrului de rubin, întîlnind fețele acestuia, *A* și *B*, se reflectă și întîlnind în drumul lor atomi metastabili îi fac să elibereze fotoni, care se adaugă la fotonii reflectați inițial (figura I,5, b). În acest fel, numărul fotonilor crește rapid (viteza lor de mișcare între cele două fețe este, $2 \cdot 10^8$ m/s). Fotonii „alergînd" de la o oglindă la alta, provoacă apariția a noi serii de fotoni ș.a.m.d. Și fiindcă, așa cum am arătat, fotonii radiației roșii care au pătruns prin fața *A* sînt multiplicați, ca urmare a emisiei de fotoni secundari de către atomii metastabili stimulați, se spune că, în acest caz, are loc un fenomen de amplificare și deci laserul, avînd un astfel de mediu solid, lucrează ca *amplificator de radiații*. Radiațiile amplificate care iau naștere sînt *roșii* și ies prin fața *B* (fig. I.5,c).

Dacă asupra cristalului se trimite numai radiația verde, U_v (radiația de pompaj), sub acțiunea căreia o parte din ionii de impuritate vor trece pe un nivel energetic superior și apoi pe nivelul metastabil, un număr foarte mic de ioni metastabili trec spontan pe nivelul fundamental, emițînd fotoni aparținînd radiației roșii, care joacă rolul fotonilor trimiși din exterior prin fața *A*, din cazul descris anterior. Acești fotoni vor stimula alți ioni metastabili, care vor emite fotoni secundari și toți acești fotoni, din radiația roșie, vor stimula alți ioni metastabili, care vor emite, de asemenea, alți fotoni ș.a.m.d., așa cum am arătat mai înainte. În cazul de față nu intervine o radiație din exterior pentru a provoca emisia stimulată ca în cazul precedent. De aceea se spune că, în acest caz, are loc un fenomen de *generare* și deci laserul funcționează, în aceste condiții, *ca generator de radiații electromagnetice (luminoase)*. Însă fasciculul luminos care iese prin fața parțial transparentă nu este emis continuu, ci intermitent, sub formă de impulsuri scurte („fulgere"),

durata impulsului fiind de ordinul 10^{-6}—10^{-3} s. Aceasta se datorește modului de funcționare și anume: emisia stimulată se produce mult mai rapid decît pompajul optic; de aceea vor exista intervale de timp în care nivelul metastabil va fi gol și, prin urmare, va trebui să treacă un anumit interval de timp pentru ca acest nivel să se umple din nou și astfel emisia stimulată să se producă, adică să fie emis un nou *impuls luminos (un „fulger" roșu)*.

Iată, deci, cum un banal joc cu oglinzi paralele a putut conduce pe un celebru om de știință la inventarea laserului, una dintre cele mai mari realizări ale secolului în care trăim [1].

I.5. Cum i-a dat cuiva prin gînd să folosească jocul cu oglinzi paralele la verificarea efectului Doppler în optică

Să presupunem că ne-am afla în apropierea terasamentului de cale ferată și că pe șine ar trece o locomotivă cu viteză constantă, care ar emite continuu un sunet. Am constata că, în timpul apropierii locomotivei sunetul se aude din ce în ce mai „înalt" (mai „ascuțit"), adică cu frecvență din ce în ce mai mare.

Înălțimea unui sunet reprezintă calitatea sunetului de a fi mai *profund* — mai „jos" — sau mai acut — mai „ascuțit". Înălțimea sunetului se referă la caracterul unei senzații sonore, permițînd clasificarea unei note muzicale, joasă sau înaltă. Între înălțimea și frecvența unui sunet există o legătură, dar nu s-a evidențiat o corespondență perfectă între ele. De exemplu, unui sunet cu frecvența de 20 Hz îi corespunde cea mai joasă înălțime detectabilă ca sunet de o ureche umană medie, iar unui sunet cu frecvența de aproximativ 20 000 Hz îi corespunde cea mai mare înălțime percepută ca sunet de o ureche umană medie.

Frecvența sunetului perceput de noi prezintă un maximum atunci cînd locomotiva trece prin dreptul nostru și apoi scade repede pe măsură ce locomotiva se depărtează. Dacă am întreba pe mecanicul locomotivei cum a fost frecvența sunetului emis, el ar răspunde că a avut frecvența constantă. Într-adevăr, mecanicul are dreptate deoarece el se deplasează

---

[1] Pentru detalii recomandăm cititorului una din lucrările: *Laserii*, de Gh. Savii, Editura Facla, Timișoara, 1981; *Laserii*, de Sabin Vâlceanu, Editura Ion Creangă, București, 1979; *Efecte fundamentale în fizică*, de Gh. Huțanu, Editura Albatros, București, 1975.

o dată cu sursa emițătoare — locomotiva. Noi însă, percepem sunetul diferit ca frecvență. Prin urmare, *un observator aflat în apropierea terasamentului* căii ferate percepe sunetul emis de *locomotivă, variabil ca frecvență, crescătoare sau descrescătoare, după cum locomotiva se apropie sau se depărtează de observator.*

Aceeași constatare ar face-o un observator atunci cînd s-ar afla într-un autoturism, de exemplu, și s-ar apropia, apoi s-ar depărta de o fabrică, atunci cînd sirena acesteia emite continuu un sunet. (În unele orașe industriale, sirenele fabricilor emit la orele 12 sau alte ore, un sunet prelung.) Sau dacă două autovehicule se apropie reciproc, emițînd continuu un sunet (claxonează), conducătorii lor și pasagerii vor aprecia că sunetul emis de autovehiculul în care se găsesc are frecvență constantă, în timp ce sunetul emis de autovehiculul care vine în sens invers are o frecvență din ce în ce mai mare. Aceeași constatare o vor face conducătorul și pasagerii din celălalt autovehicul. Cînd se vor depărta, însă, reciproc, ei vor aprecia că frecvența sunetului emis de celălalt autovehicul scade, sunetul devenit tot mai profund (tot mai „jos").

În toate cazurile descrise, există o sursă emițătoare de sunet și un observator (poate fi un aparat receptor) care percepe și apreciază frecvența sunetului. De asemenea, așa cum s-a observat, frecvența undelor sonore emise de sursă este percepută diferit ca valoare de către observatori, dacă aceștia sau sursa emițătoare se află în mișcare. În aceasta constă *efectul (fenomenul) Doppler în acustică.*

Fenomenul a fost descoperit în anul 1842 de Christian Doppler și explicat de Fizeau în 1848. Pe baza analogiei cu acest fenomen, Doppler a prevăzut posibilitatea modificării aparente a culorii stelelor care se deplasează față de Pămînt.

Pentru motivul arătat mai sus, în unele cărți efectul poartă numele celor doi fizicieni, *efectul Doppler-Fizeau.* Majoritatea cărților de specialitate îl menționează însă numai pe Doppler.

Efectul Doppler în cazurile arătate aici mai este denumit *efect Doppler longitudinal.* Acest efect este observat și în optică, fiind, de asemenea, studiat și în teoria relativității, care a dovedit că trebuie să existe și un *efect Doppler transversal,* adică observatorul se află pe o direcție perpendiculară

față de direcția pe care se deplasează sursa emițătoare; fenomenul a fost observat numai în optică.

În concluzie, *efectul Doppler constă în schimbarea frecvenței percepute de un observator sau aparat receptor datorită mișcării sursei emițătoare sau a receptorului, sau a ambilor, sursă-receptor, față de mediul în care se găsesc.*

Și acum, o întîmplare petrecută în timpul primului război mondial. Pe teritoriul patriei noastre au avut loc lupte între armata noastră și armata germană, victoria fiind a armatei române. Ei bine, soldații noștri spuneau că nemții au tunuri mai bune decît noi, că se constată, aceasta, după sunetul produs de proiectilele ce veneau de la ei; tunurile noastre însă sînt niște „rable" deoarece sunetul produs de proiectilele trimise spre nemți scot un sunet parcă „dogit". Ne dăm seama foarte ușor că această apreciere relativă se explică cu ajutorul efectului Doppler; proiectilele „noastre" se depărtau și deci se auzea un sunet mult mai profund (dogit), iar cele ale inamicului se apropiau și ca atare sunetul perceput devenea tot mai înalt.

Cunoașterea frecvenței, deci a înălțimii sunetului are mare importanță, deoarece frecvența caracterizează sursa emițătoare. În acustică, sursa emițătoare este un corp care vibrează cu o frecvență mai mare de 16 Hz, dar mai mică de 20 000 Hz. Aceste vibrații sînt percepute de organul nostru auditiv ca sunete. Vibrațiile a căror frecvență este sub 16 Hz se numesc *infrasunete* și nu sînt percepute de urechea noastră, iar vibrațiile a căror frecvență depășește 20 000 Hz se numesc *ultrasunete*. Nici ultrasunetele nu sînt percepute de organul nostru auditiv.

Efectul Doppler în acustică a fost verificat la sfîrșitul secolului trecut în felul următor: pe un vagon platformă a fost instalat un tonometru (aparat care emite sunete „curate", adică sunete de o anumită frecvență). În apropierea terasamentului se aflau niște muzicanți care trebuiau să aprecieze după urechea lor sunetul emis în timpul deplasării vagonului; tonometrul emitea continuu un sunet de înălțime cunoscută. În acest fel, efectul Doppler în acustică a fost confirmat experimental.

Grație efectului Doppler, cu ajutorul unui radar corespunzător se poate măsura viteza relativă a unui corp mobil. Cu ajutorul efectului Doppler se poate măsura, de pildă, viteza rachetelor spațiale, viteza automobilelor. Pe șosele, unde viteza este limitată, conducătorii auto care depășesc

viteza legală sînt foarte ușor depistați, fără greș, cu ajutorul radarului.

În cazul undelor luminoase, efectul Doppler a fost sesizat în timp ce se studiau liniile spectrale emise de către stele, deducîndu-se valorile vitezelor de apropiere sau depărtare a stelelor față de Pămînt.

Datorită faptului că efectul Doppler permite să se determine viteza sursei emițătoare sau a observatorului (receptorului) față de mediul în care se găsesc cei doi parteneri (*S* și *O*), prin simpla măsurare a frecvenței, precum și ca urmare a ipotezei care presupunea existența eterului și a propagării luminii în eter, s-a ajuns la concluzia că măsurînd frecvența prin efect Doppler s-ar putea evidenția mișcarea absolută a Pămîntului, adică mișcarea Pămîntului față de „eterul" presupus imobil (eterul era considerat ca un mediu fluid transparent cu proprietăți speciale care umple întregul spațiu interastral inclusiv corpurile transparente. La distanță mare de astre, eterul era presupus imobil). Teoria relativității a demonstrat inexistența eterului și deci inexistența mișcării absolute. De aceea, teoria efectului Doppler trebuia revizuită pentru undele luminoase și pusă în acord cu teoria relativității.

În optică, efectul Doppler a fost studiat experimental, în condiții de laborator, mai întîi de către Belopolski, în anul 1900 și ulterior de către Stark în 1905, Golițîn în 1907 și reluat în 1919 de către Fabry și Buisson.

Marea dificultate consta în aceea că viteza sursei de lumină era mult prea mică în comparație cu viteza de propagare a luminii.

Pentru a mări viteza de deplasare a sursei de lumină, Belopolski folosește „jocul cu oglinzi" descris la I.1. Ideea lui Belopolski a fost următoarea (fig. I.2): știind că prima imagine virtuală a sursei reale de lumină se află la distanța $2e$ față de sursa S, a doua imagine se va afla la distanța $4e = 2 \cdot 2e$, cea de a treia imagine se va găsi la distanța $6e = 3 \cdot 2e$ față de S, ș.a.m.d., iar a n-a imagine se va afla la distanța $2ne$ față de sursa reală S, atunci, dacă oglinzile s-ar depărta una de alta astfel încît distanța e dintre ele să se mărească cu viteza v, toate imaginile se vor deplasa, încît cea de a n-a imagine va avea o viteză de deplasare egală cu $2nv \left(\frac{2ne}{t}\right)$.

În acest fel s-a preconizat posibilitatea creşterii vitezei de deplasare a sursei de lumină S, care este de fapt viteza de deplasare a celei de a n-a imagine virtuală a sursei reale S, viteză ce poate atinge o valoare foarte mare.

Belopolski transpune ideea sa în practică astfel: montează mai multe oglinzi plane pe direcţie radială la două roţi ca în figura I.6, asemenea zbaturilor de la roţile propulsoare ale unor nave fluviale. Între roţi, la mică distanţă, a plasat o sursă punctiformă de lumină şi a pus în mişcare roţile în sensul arătat pe figură. Cu ajutorul unui spectrograf cu mare putere de rezoluţie (de separare) a studiat spectrul sursei S şi apoi spectrul celei de a n-a imagine a lui S, observînd deplasarea acestuia. În acest fel, viteza sursei de lumină era foarte mare; era de fapt viteza celei de a n-a imagine virtuală a sursei reale de lumină. Belopolski obţine pentru această imagine a sursei S o viteză de 670 m/s. Ulterior, Goliţîn reia experienţele lui Belopolski, în anul 1907, obţinînd o viteză finală, a celei de a n-a imagine a sursei de lumină S, de 250—350 m/s, adică între 900 km/h şi 1 260 km/h. Între datele teoretice şi cele experimentale exista o concordanţă extrem de bună, de 5%, ţinînd seama de marea dificultate a realizării unor astfel de experienţe.

Efectul Doppler a permis descoperirea stelelor duble, atît de îndepărtate încît separarea imaginilor lor cu ajutorul telescoapelor este imposibilă. Liniile spectrale ale unor astfel de stele devin periodic duble. Aceasta ne spune că sînt două corpuri care se apropie şi se depărtează succesiv, adică evoluează în jurul unui centru de masă comun.

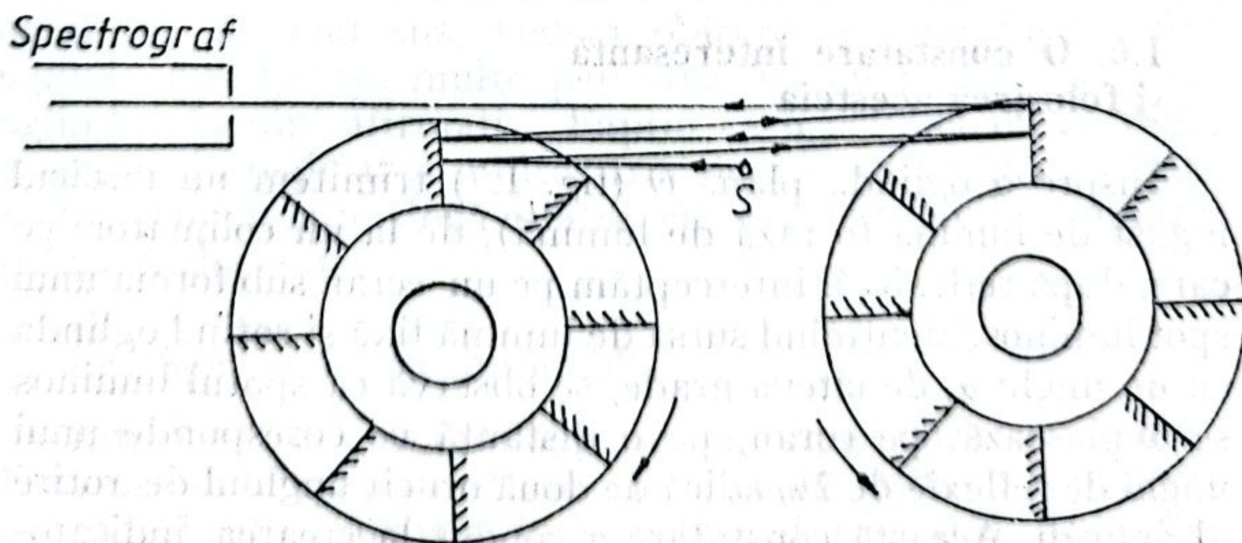


Fig. I.6

În astrofizică, efectul Doppler a permis determinarea vitezei de erupție a maselor de hidrogen, fenomen observat în protuberanțele solare. Această viteză este de 1 000 km/s. De asemenea, s-a determinat viteza de rotație a Soarelui în jurul propriei sale axe, comparîndu-se deplasarea liniilor spectrale emise de extremitățile estică și vestică ale Soarelui. Viteza tangențială în dreptul diametrului „discului" solar obținută prin efect Doppler este de 2,3 km/s, iar din observațiile directe s-a obținut 2 km/s. Rezultă de aici o confirmare a efectului Doppler.

Efectul Doppler a condus pe oamenii de știință la concluzia că Universul este în plină expansiune și au creat în acest sens *teoria Universului în expansiune*. Cum s-a ajuns la această concluzie? S-a observat că, cu cît corpurile cerești sînt mai depărtate de sistemul nostru solar, cu atît deplasarea liniilor spectrale este mai pronunțată. Deplasarea liniilor spectrale are loc înspre domeniul roșu al spectrului (lungime de undă mare și deci frecvență mică). De aici s-a desprins și concluzia că viteza radială de deplasare înspre exterior a corpurilor observate este mare (corpurile se îndepărtează de noi).

Teoria relativității dovedește că există în optică și un efect Doppler transversal. Acest fenomen, care este un efect pur relativist, a fost pus în evidență experimental de către Ives și Stilwell, în anul 1938, dovedindu-se astfel, neîndoielnic, existența efectului Doppler transversal și în același timp confirmîndu-se în mod experimental teoria relativității restrînse.

I.6. O constatare interesantă și folosirea acesteia

Înspre o oglindă plană O (fig. I.7) trimitem un fascicul îngust de lumină (o rază de lumină), de la un colimator, pe care, după reflexie, îl interceptăm pe un ecran sub forma unui spot luminos. Menținînd sursa de lumină fixă și rotind oglinda cu un unghi α, de cîteva grade, se observă că spotul luminos se deplasează, pe ecran, pe o distanță ce corespunde unui unghi de reflexie de 2α, adică de două ori cît unghiul de rotire al oglinzii. Această constatare a condus la crearea indicatorului luminos (fig. I.7) și este folosită la foarte multe instru-

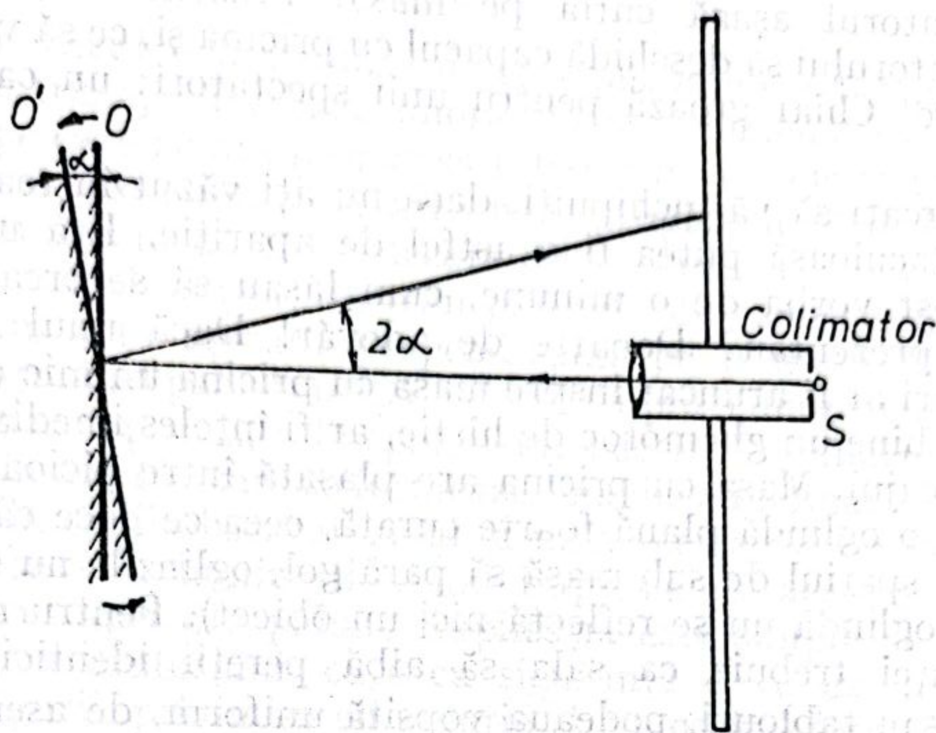


Fig. I.7

mente de măsurare, mai ales electrice, ca: voltmetre, ampermetre, galvanometre, wattmetre.

Această metodă este cunoscută sub denumirea de *metoda Poggendorf*.

I.7. V-ați întrebat vreodată dacă se poate vedea o oglindă?

Experiența arată că o oglindă nu se poate vedea. Se impune ca oglinda să fie perfect plană, limpede, curată, mare, fără ramă. Privind într-o oglindă mare, îndeplinind condițiile de mai sus, vedem obiecte, pe noi înșine, dar oglinda nu. Totuși, multe persoane întrebate dacă se vede oglinda răspund afirmativ. Faptul că o oglindă nu se vede, a condus la realizarea multor trucaje, „iluzii" optice, scamatorii. Vom descrie două dintre ele care au produs uimire, pe bună dreptate.

I.8. Spectacole cu „minuni" ...

Într-o sală de spectacole, pe scenă, după ridicarea cortinei, li se prezintă spectatorilor o masă goală, atît deasupra, cît și dedesubtul ei (aparent însă; vom vedea îndată). Apoi prezentatorul arată publicului o cutie pe care a adus-o colaboratorul său și în care, spune el, se păstrează un cap viu de om.

Colaboratorul aşază cutia pe masă. Prezentatorul spune colaboratorului să deschidă capacul cu pricina şi, ce să vedeţi? Stupoare! Chiar groază pentru unii spectatori: un cap viu de om!

Încercaţi să vă închipuiţi, dacă nu aţi văzut în realitate, ce spectaculoasă putea fi o astfel de apariţie. Era uluitor. Să fi fost vorba de o minune, cum lăsau să se creadă cei care o prezentau? Departe de adevăr! Dacă unul dintre spectatori ar fi aruncat înspre masa cu pricina un mic obiect, sau mai bine un ghemotoc de hîrtie, ar fi înţeles imediat care este trucajul. Masa cu pricina are plasată între picioarele ei din faţă o oglindă plană foarte curată, ceea ce face ca de la distanţă spaţiul de sub masă să pară gol, oglinzile nu se văd dacă în oglindă nu se reflectă nici un obiect). Pentru reuşita experienţei trebuie ca sala să aibă pereţii identici, fără modele sau tablouri, podeaua vopsită uniform, de asemenea fără semne pe ea, iar masa să fie la o distanţă suficient de mare faţă de spectatori. Explicaţia este simplă (cînd se cunoaşte!) Peretele de jos al cutiei este mobil. În placa de lemn a mesei există un chepeng rabatabil, cutia fiind aşezată chiar deasupra acestui chepeng, masa fiind plasată şi ea la rîndul ei deasupra unei trape practicată în podeaua scenei. În timpul „ceremoniei“ de pe scenă, un alt colaborator intră prin această trapă scoţînd capul, astfel că atunci cînd prezentatorul îndepărtează peretele cutiei dinspre spectatori, aceştia văd „capul vorbitor“. Desigur că sînt mai multe variante cu privire la acest cap viu care vorbeşte, mănîncă, bea etc.

Personal am văzut cu mulţi ani în urmă, circa 15 ani, un spectacol asemănător. Un şarpe mare cu cap viu de fată, care vorbea, rîdea, mînca etc. Pe o oglindă mare, aproape cît peretele sălii de spectacol se găsea mulajul unui şarpe uriaş, oglinda fiind înconjurată cu verdeaţă. Printr-o deschidere circulară practicată în oglindă la extremitatea unde trebuia să fie capul şarpelui, pătrundea capul fetei cu guleraş alb, pentru a masca mai bine deschiderea din oglindă. În spatele oglinzii stătea fata al cărei chip era văzut de spectatori, producînd o impresie uluitoare, de neuitat. Oglinda însă nu se vedea, mai ales că verdeaţa reflectîndu-se dădea impresia de profunzime.

I.9. Despre apariţii ireale

Am văzut adesea în cadrul emisiunilor de televiziune diverse trucaje. La baza unora stă şi fenomenul de apariţii ireale pe care ne-am propus să-l descriem, în cele ce urmează. De altfel, experienţa pe care ne-o propunem să o discutăm poate fi făcută de către fiecare dintre cititori.

O placă de sticlă, *P*, transparentă, de exemplu o bucată de geam este aşezată perpendicular pe o masă (fig. I.8). În stînga ei un pahar cu apă, iar în dreapta, cum privim figura, o lumînare aprinsă, *l*, în spatele unei cutii, *C*. Paharul trebuie aşezat în zona în care se formează imaginea lumînării. Dacă în *O* se află ochii observatorului, atunci acesta va vedea numai imaginea *l'* a lumînării avînd impresia că aceasta arde în interiorul apei din pahar. Explicaţia este simplă şi o lăsăm pe seama cititorului, care cu siguranţă o va da numai pe baza figurii, privind-o cu atenţie şi cunoscînd formarea imaginii într-o oglindă plană. Observatorul va vedea două imagini suprapuse ale lumînării: una datorită reflexiei luminii pe faţa lucie a plăcii şi una datorită fenomenului de refracţie a luminii în apa din pahar.

Aşa se explică şi apariţia unor personaje sau obiecte fantastice într-o scenă de teatru. Personajele sau obiectele reale

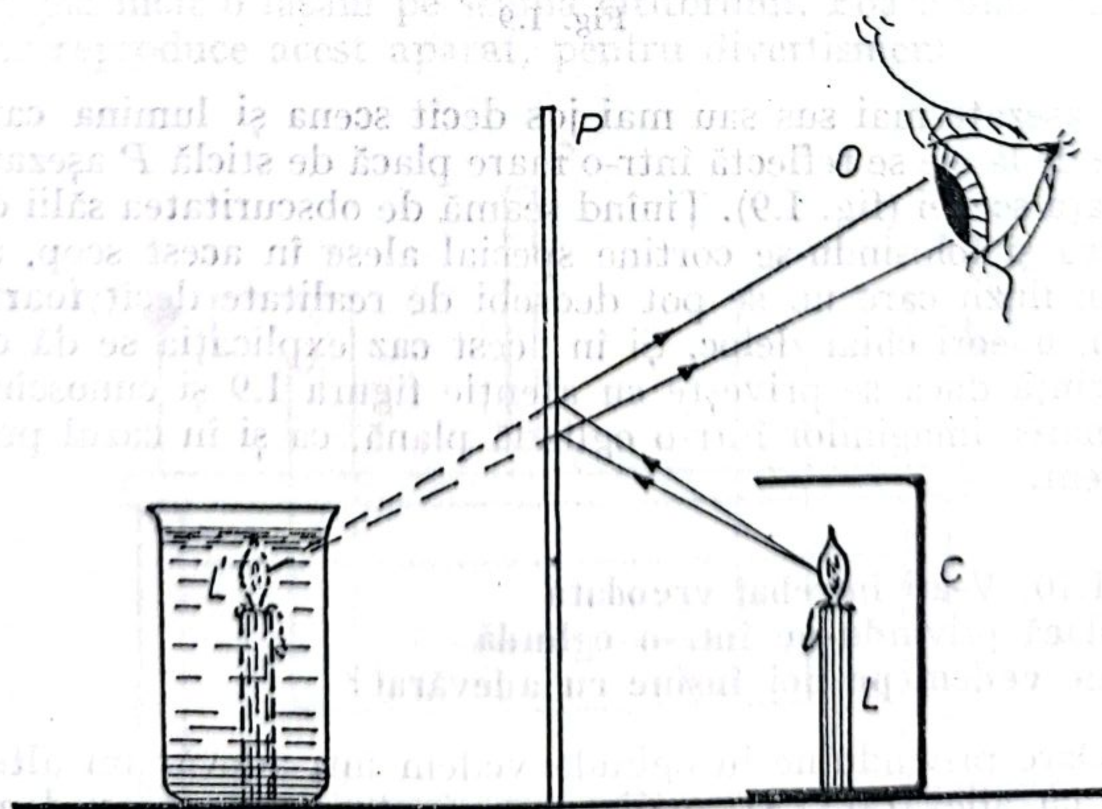


Fig. I.8

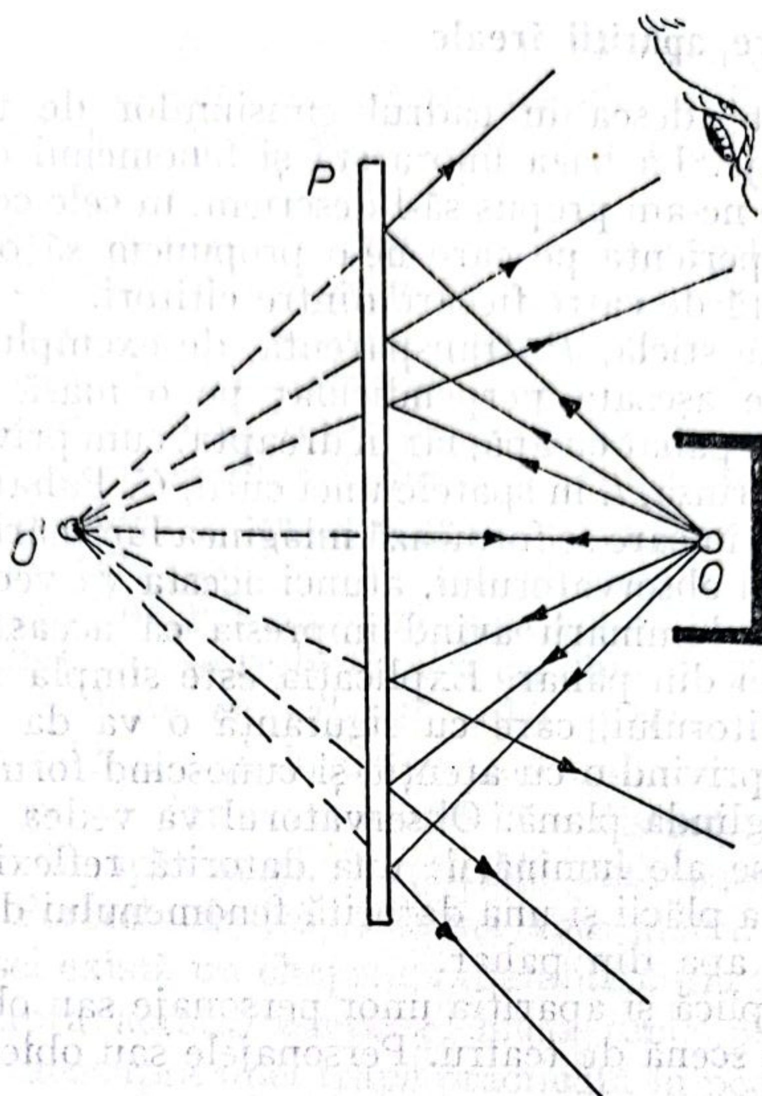


Fig. I.9

sînt așezate mai sus sau mai jos decît scena și lumina care vine de la ele se reflectă într-o mare placă de sticlă *P* așezată în fața scenei (fig. I.9). Ținînd seamă de obscuritatea sălii de teatru și folosindu-se cortine special alese în acest scop, se obțin iluzii care nu se pot deosebi de realitate decît foarte greu, uneori chiar deloc. Și în acest caz explicația se dă cu ușurință dacă se privește cu atenție figura I.9 și cunoscînd formarea imaginilor într-o oglindă plană, ca și în cazul precedent.

I.10. V-ați întrebat vreodată dacă privindu-ne într-o oglindă ne vedem pe noi înșine cu adevărat?

Oare privindu-ne în oglindă vedem într-adevăr un alter ego cu adevărat? Să analizăm mai atent ceea ce vedem. De exemplu, buzunarul din stînga de sus de la haina noastră

îl vedem în dreapta imaginii din oglindă; dacă ne pieptănăm, constatăm cu surprindere că persoana din oglindă este stîngace, se piaptănă cu mîna stîngă; or acest defect (fizic) noi nu-l avem. Dacă mişcăm ochiul drept, observăm că persoana din oglindă mişcă ochiul stîng. În concluzie, mai putem susţine că imaginea din oglindă ne reprezintă într-adevăr pe noi? Dacă nu, atunci pe cine vedem? O persoană pe care noi o considerăm că ar fi alter egoul nostru, şi pe care o consultăm cu privire la înfăţişarea noastră. Curios, nu? Şi totuşi aşa este. Analizaţi cu atenţie şi dumneavoastră şi vă veţi convinge. Evident că nu trebuie să ne pierdem încrederea în acest alter ego al nostru, deoarece atunci cînd îl consultăm „ne dă, totuşi, răspunsuri" fidele. Ce ne-am face fără oglindă?!

I.11. Un mic aparat la îndemîna oricui doreşte să se amuze

Să privim cu atenţie figura I.10. Ochiul persoanei din dreapta, cum privim figura, vede obiectul *O* cu toate că există un paravan *P*, opac, între persoana care priveşte şi obiect. *T* reprezintă un tub din metal, carton sau material plastic opac, avînd montate în interior patru oglinzi plane, $O_1 \dots O_4$, înclinate cu 45° faţă de orizontală. Explicaţia este atît de simplă încît o lăsăm pe seama cititorului. Poate unii cititori vor reproduce acest aparat, pentru divertisment.

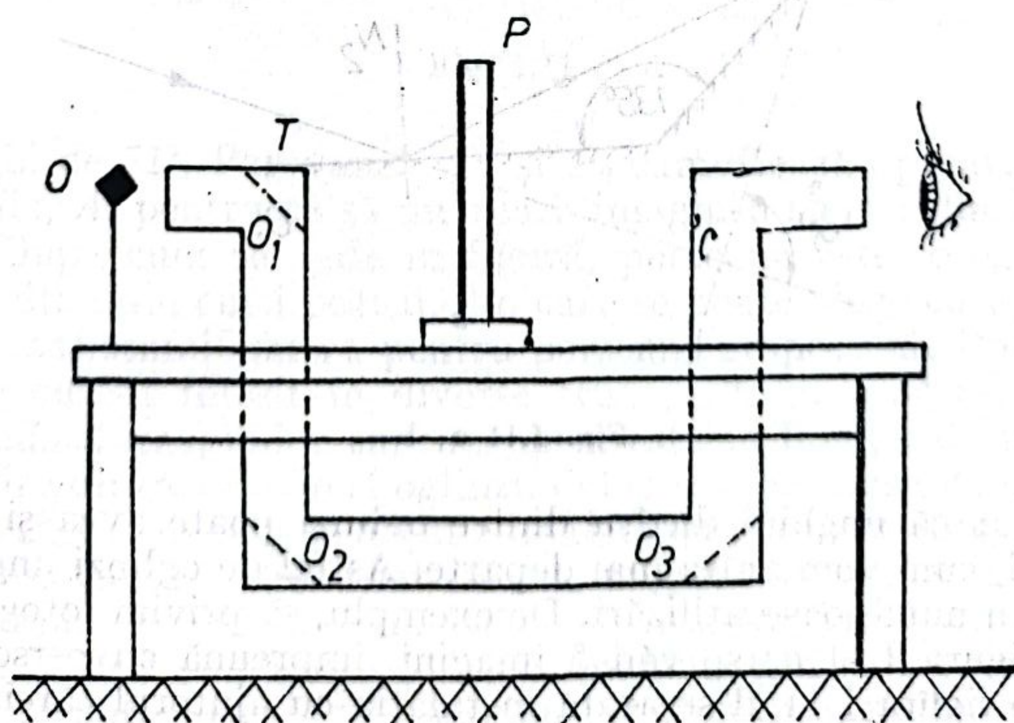
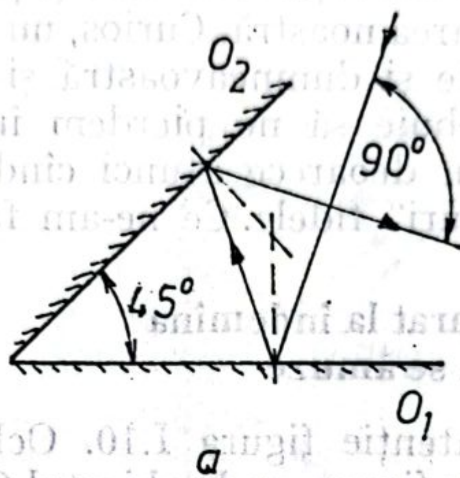


Fig. I.10

I.12. Geometrie? Mai puţin. Unghiuri optice? Da!

Două mici oglinzi plane dreptunghiulare le montăm în aşa fel încît să formeze între ele un unghi de 45° sau de 135°. Trimiţînd înspre o astfel de oglindă unghiulară o rază de lumină, mersul acesteia va fi ca acela din figura I.11 a, b.



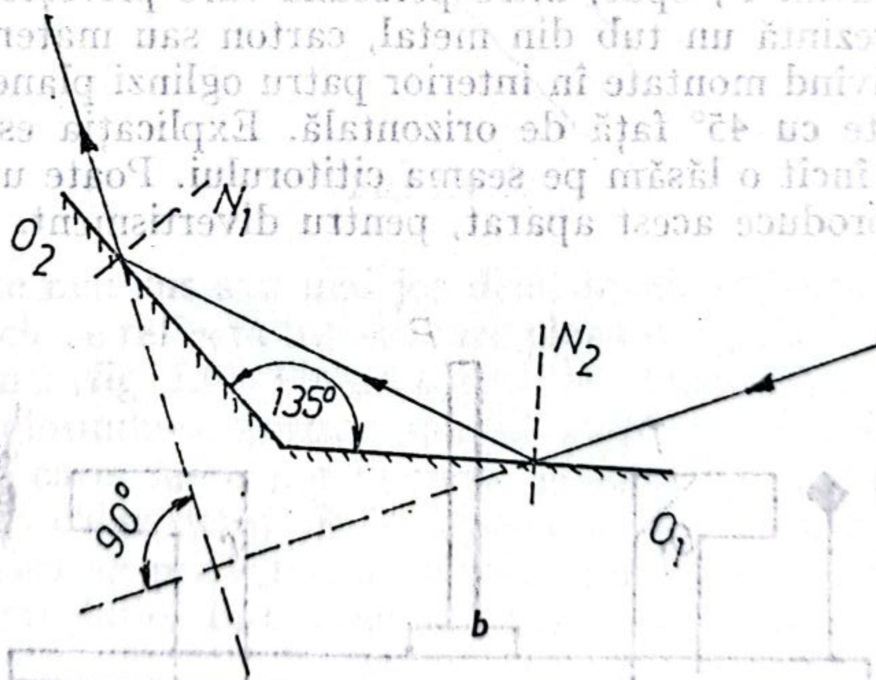
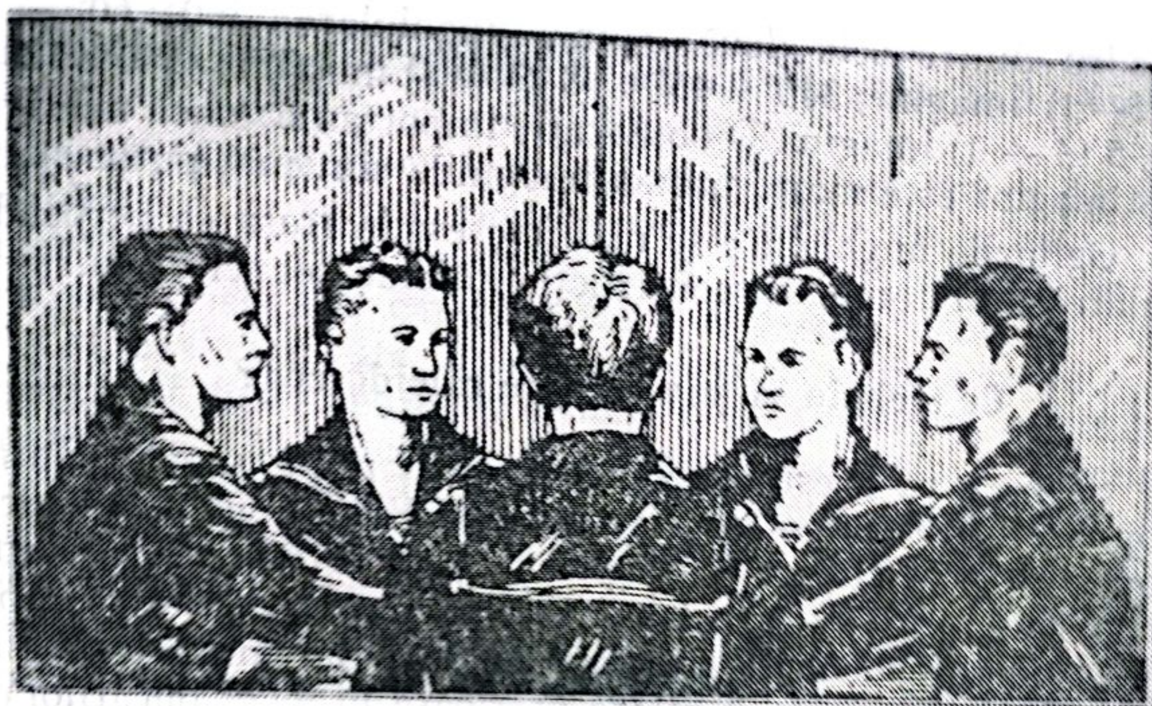


Fig. I.11 a, b

Desigur că unghiul diedru dintre oglinzi poate avea şi alte valori, cum vom arăta mai departe. Astfel de oglinzi unghiulare au numeroase utilizări. De exemplu, să privim fotografia din figura I.11, c; se văd 5 imagini, împreună cu persoana, iar în figura I.11, d se arată instalaţia cu ajutorul căreia s-a făcut fotografierea, oglinzile O_1 şi O_2 formînd între ele un



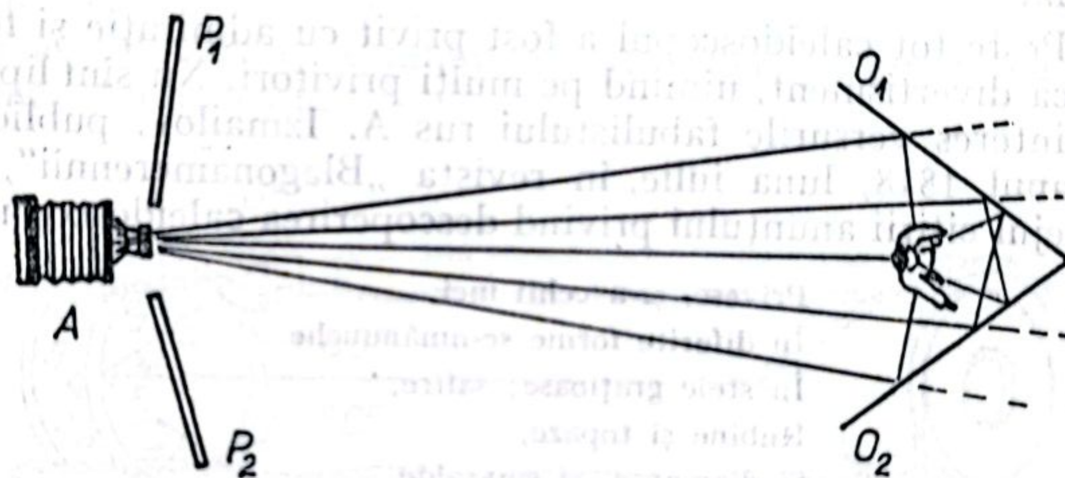


Fig. I.11 c, d

unghi de 72°. Paravanele P_1 și P_2 camuflează aparatul fotografic, *A*, pentru ca să nu apară imaginea sa în oglinzi.

După cum se vede în figură, persoana este fotografiată simultan din cinci poziții, din care se poate alege cu ușurință cea mai semnificativă pentru persoana respectivă. Procedeul este curent folosit în diverse trucaje, fiind ușor realizabil. Numărul imaginilor care se obțin este în funcție de unghiul diedru dintre cele două oglinzi. Cel mai avantajos este unghiul de 72°, caz în care se obțin 5 imagini cu persoana fotografiată sau obiectul fotografiat. Dacă unghiul este mai mic, de exemplu de 45°, se obțin 8 (7 + 1) imagini, iar dacă unghiul este de 60° se obțin 6 (5 + 1) imagini. Pentru un unghi de 90° se obțin 4 (3 + 1) imagini. Numărul imaginilor care se obțin se calculează ușor, împărțind 360° la valoarea unghiului

diedru dintre cele două oglinzi unghiulare: $360° : 60° = 6$, $(5 + 1)$ imagini; $360° : 45° = 8\ (7 + 1)$ imagini; $360° : 72 = 5\ (4 + 1)$ imagini. O observaţie importantă: dacă numărul de imagini este mare, atunci imaginile sînt mai puţin clare.

Oglinzile unghiulare se mai folosesc la trasarea perpendicularelor în teren, în construcţia caleidoscoapelor ş.a.

I.13. Ce trebuie să ştim despre caleidcscop?

Se pare că acest instrument — mai mult jucărie pentru copii — a fost cunoscut prin secolul al VII-lea, ulterior redescoperit şi perfecţionat în Anglia, în anul 1816, apoi în Franţa şi în Rusia (1818). La început caleidoscoapele erau scumpe, unele chiar enorm de scumpe. Acestea din urmă aveau în construcţia lor perle şi pietre preţioase în locul bucăţilor de sticlă.

Peste tot caleidoscopul a fost privit cu admiraţie şi folosit ca divertisment, uimind pe mulţi privitori. Nu sînt lipsite de interes versurile fabulistului rus A. Izmailov, publicate în anul 1818, luna iulie, în revista „Blagonamerennîi", cu prilejul citirii anunţului privind descoperirea caleidoscopului:

> Privesc, şi-n ochii mei,
> În diferite forme se-nmănunche
> În stele graţioase; safire,
> Rubine şi topaze,
> Şi diamante, şi smaralde
> Şi perle şi-ametiste,
> Şi sideful roz.
> Printr-o mişcare doar
> Noi forme se-nfiripă!

Şi în continuare scrie: „Ceea ce vezi în caleidoscop nu se poate descrie nici în proză şi nici în versuri. Figurile se schimbă la fiecare mişcare a mîinii şi nici una nu seamănă cu alta. Ce desene fermecătoare! Ah! dacă ele ar putea fi brodate pe canava! Iată ocupaţia cea mai plăcută care te lecuieşte de trîndăvie".

Caleidoscoapele mai sînt folosite, de multă vreme, pentru schiţarea diverselor ornamente de către pictorii decoratori; de asemenea, sînt folosite de către creatorii de modele, pentru realizarea imprimeurilor pe diverse ţesături. Mai sînt folosite, încă, pentru ornamentarea tapetelor ş.a.

S-a reușit chiar să se fotografieze imaginile observate în caleidoscop, ceea ce constituie un real avantaj atît pentru pictori cît și pentru creatorii de modele.

Să arătăm pe scurt, în ce constă acest instrument și cum se folosește. În primul rînd numele provine de la cuvintele grecești: *kalos* care înseamnă *frumos*, *eidos* care înseamnă *imagine*, și *skopein* care înseamnă *a privi*.

Caleidoscopul este un mic instrument optic a cărui construcție și funcționare este bazată pe principiul oglinzilor unghiulare, fiind alcătuit din două sau trei oglinzi, formînd între ele un unghi diedru de 45° sau 60°, plasate într-un cilindru opac, la o extremitate aflîndu-se două geamuri paralele, unul mat, și unul transparent, iar între ele cîteva mici cioburi de sticlă colorată. La extremitatea cealaltă un geam transparent pe care s-a aplicat un disc din carton prevăzut, central, cu o deschidere circulară cu un diametru de circa 1 cm, prin care se privește în interior (fig. I.12). Se văd imagini ale cioburilor, combinate astfel încît în ansamblul lor formează un desen.

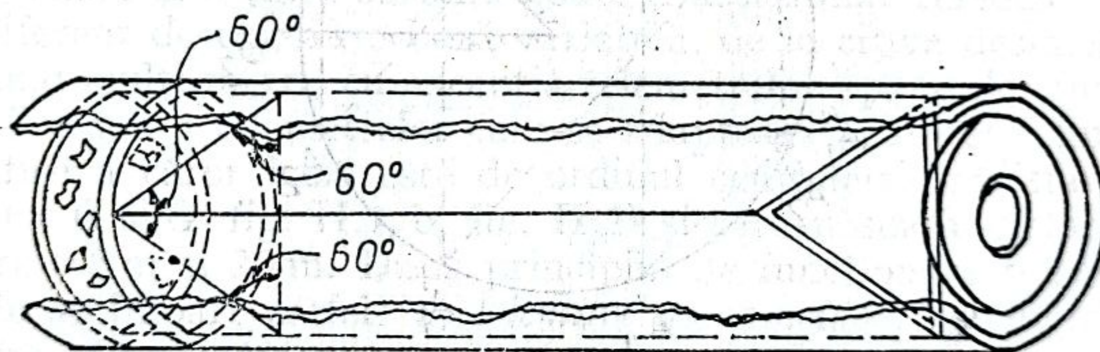


Fig. I.12

Figura I.13 reprezintă o secțiune transversală printr-un caleidoscop, avînd în alcătuirea sa două oglinzi plane, formînd între ele un unghi diedru de 45°, și modul în care se multiplică imaginea cioburilor. Figura I.14 arată formarea imaginii unui punct într-un astfel de caleidoscop. Se observă că imaginile se multiplică pînă cînd la un moment dat se suprapun.[1] În cazul acesta se suprapun fiecare a patra imagine dată de fiecare din cele două oglinzi, încît obiectul se vede de 8 ori; punctul A și imaginile lui: A_1^{I}, A_1^{II}, A_1^{III}, A_1^{IV}; A_2^{I}, A_2^{II} A_2^{III} și A^4 suprapus cu A_1^{VI}. Pentru a obține numărul

[1] S-au considerat două oglinzi formînd între ele 45°, deoarece este mai ușor de explicat formarea imaginilor.

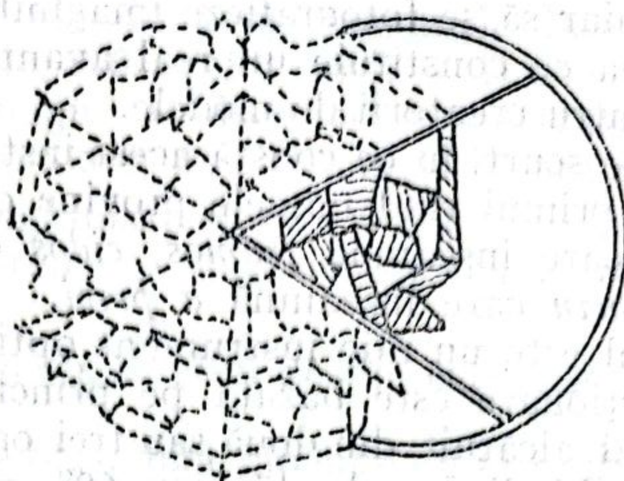


Fig. I.13

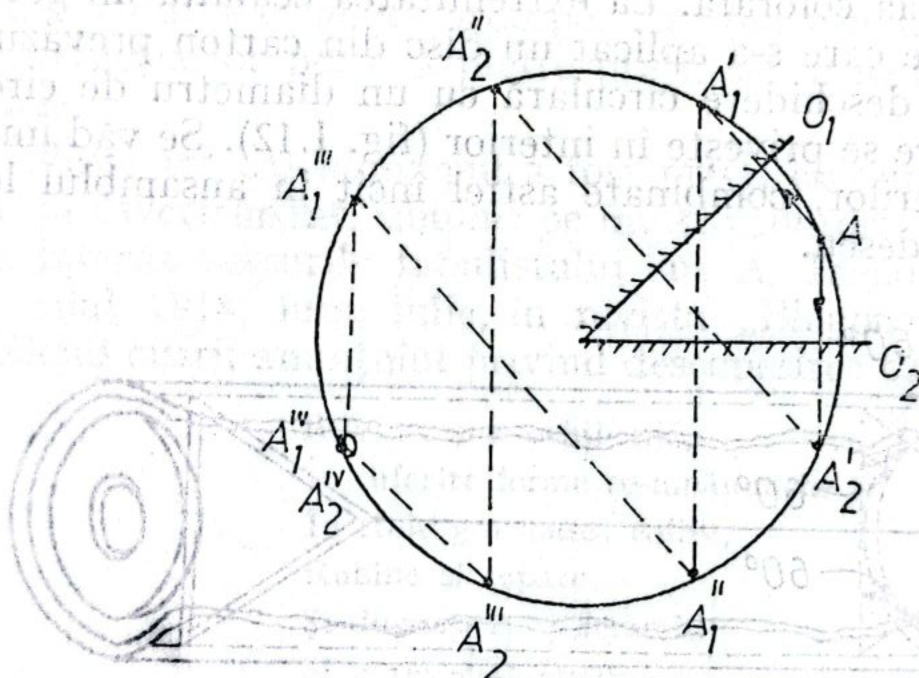


Fig. I.14

imaginilor ce le vom vedea se împarte 360° la valoarea unghiului dintre oglinzi. Imaginile se schimbă la fiecare rotire a caleidoscopului. Variația imaginilor oferă un frumos aspect decorativ pentru observator. Calculul arată că pentru a se obține toate imaginile posibile ar trebui rotit caleidoscopul de zece ori pe minut timp de 500 000 000 000 de ani, cînd în interior ar fi numai 20 de mici cioburi de sticlă colorată. Așadar, caleidoscopul ar trebui rotit timp de mai mult de 500 000 000 de milenii pentru a se vedea toate combinațiile, toate figurile posibile.

Este o construcție interesantă ce poate fi ușor realizată de fizicienii amatori.

ÎN CARE SE ARATĂ UNELE UTILIZĂRI ALE LAMELOR CU FEȚE PLANE ȘI PARALELE, ALE PRISMELOR OPTICE ȘI ALE LENTILELOR

II.1. Putem măsura distanțe fără metru sau ruletă și fără a ne deplasa?

Astăzi se cunosc diverse tipuri de instrumente, denumite *telemetre*, care servesc la măsurarea distanțelor liniare, observatorii fiind poziționați într-un anumit loc. Aceste instrumente sînt ușor portabile, avînd o construcție mai mult sau mai puțin complicată, după destinația pe care o au.

Telemetrele sînt instrumente optice cu ajutorul cărora se măsoară distanțe între 10 m și 10 km, dintre un punct de staționare și o țintă care nu poate fi accesibilă. Telemetrele, indiferent de tip, au o bază variabilă, de la cîțiva decimetri la mai mulți metri, cu excepția telemetrelor aparatelor fotografice sau a telemetrelor care se adaptează aparatelor fotografice a căror bază este de ordinul centimetrilor (distanța dintre *G* și *G'* fig. II.1, b, fig. II.2) și care măsoară distanțe între 0,5 m și 20 m. După principiul de funcționare telemetrele se împart astfel: a) *telemetre de coincidență* și b) *telemetre stereoscopice*.

Cel mai simplu telemetru de coincidență este telemetrul *„Certos"* (fig. II.1, b), destinat aparatelor de fotografiat care nu sînt echipate de către fabricant, cu un astfel de instrument.

Schema optică este dată în figura II.1, a. Așa cum se vede pe figură, piesele principale sînt: o oglindă plană *O* și o lamă de sticlă, *L*, cu fețe plane și paralele parțial transparentă. Cînd cele două piese optice sînt paralele între ele, razele de lumină se propagă prin sistem așa cum se vede pe figură (razele 1 și 1'), obiectul aflîndu-se la infinit sau la o distanță mai mare de 10 m. În celelalte cazuri, cînd distanța pînă la obiectul vizat este sub 10 m, cele două piese sînt neparalele. Să vizăm acum un obiect oarecare. O porțiune a acestuia va apărea deplasată lateral, la stînga ori la dreapta noastră. Rotim tamburul *T* (fig. II. 1, b) pînă cînd liniile obiectului se

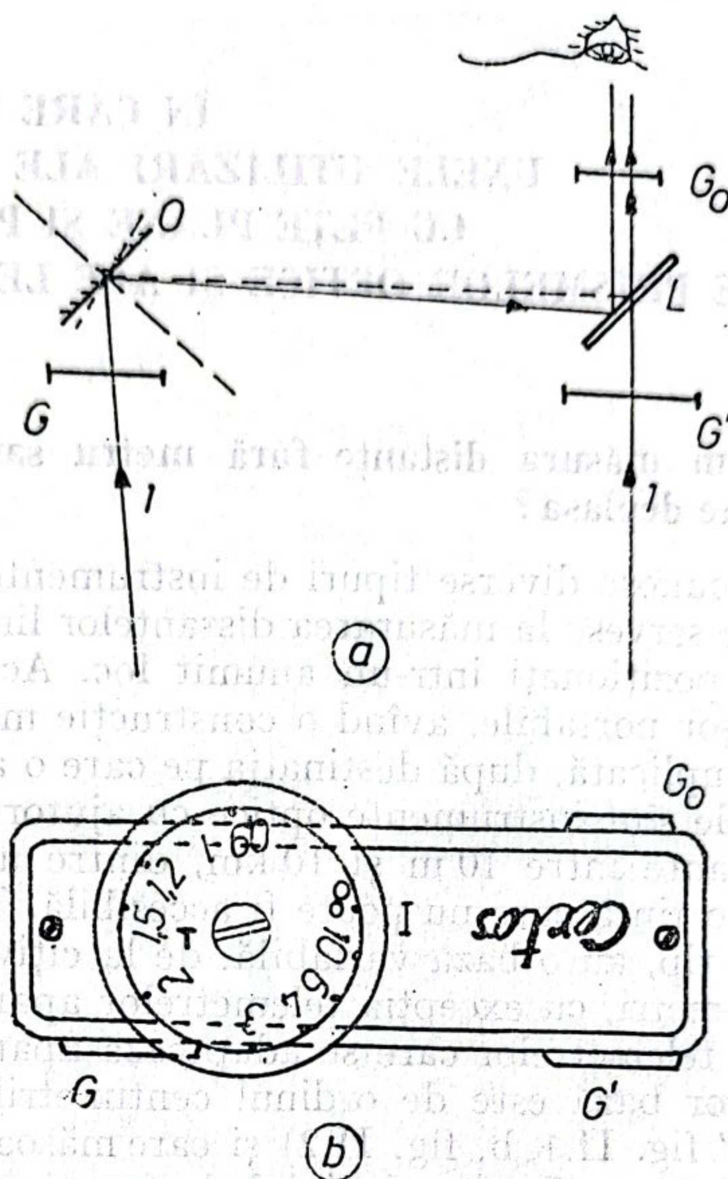


Fig. II.1

suprapun. Pe discul tamburului se citește distanța în metri. Un astfel de telemetru este destinat fotografilor amatori. Mare parte din aparatele foto însă sînt echipate cu telemetre, a căror funcționare este similară celui descris.

Schema unui alt tip de telemetru de coincidență este dată în figura II.2. Cu acest telemetru pot fi măsurate distanțe cuprinse între 250 m și 8 000 m. Se observă că schema optică este destul de complicată. Aici G și G' reprezintă două geamuri de sticlă ce protejează prismele pentagonale P și P'. C și C' reprezintă două prisme isoscele care separă imaginile și dirijează razele de lumină înspre ocularul B. Deviatorul D, acromatic, este solidar cu un indicator care se deplasează în fața unei scale pe care sînt înscrise distanțele în metri. Pe această scală se pot citi distanțele, chiar și noaptea grație unui bec interior care o luminează. O și O' sînt obiective prin

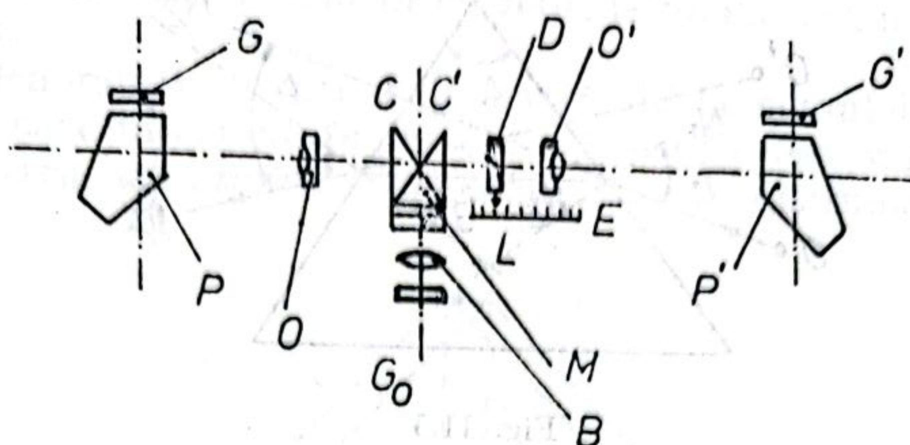


Fig. II.2

care trec razele de lumină provenind de la cele două prisme pentagonale.

Telemetrele descrise sînt monoculare. Spre deosebire de acestea, telemetrele stereoscopice sînt binoculare. Schema optică este asemănătoare celui precedent, numai că razele de lumină sînt dirijate în final înspre două oculare. Cu acest tip de telemetru imaginile obiectelor se văd în relief.

Telemetrele sînt utilizate în topografie, în marină, pentru aprecierea depărtărilor față de coastă sau de alte nave. Se demonstrează că eroarea comisă este direct proporțională cu pătratul distanței (la eroarea de coincidență) și invers proporțională cu lungimea bazei. De aceea este avantajos ca telemetrele să se construiască cu bază mare, cum sînt cele utilizate în marină, a căror bază este de pînă la 20 m. Aceasta însă reclamă prezența a doi observatori, aparatele fiind de mari dimensiuni și incomode. Astfel de telemetre se numesc „bistatice", în opoziție cu cele care sînt deservite de un singur operator, numite „monostatice".

Telemetrele folosite în topografie și în armată au baza cuprinsă între 0,25 m și 1 m.

II.2. Cum văd cei din echipajul submarinelor ce se petrece pe suprafața mării, cînd nava lor este în imersiune?

În figura II.3 se arată o prismă optică și mersul unei raze de lumină. Se observă că raza refractată în prismă se apropie de normala N_1, sticla fiind un mediu mai refringent decît aerul, iar raza emergentă prismei se depărtează de normala N_2, mediul fiind aerul, deci mai puțin dens din punct de vedere

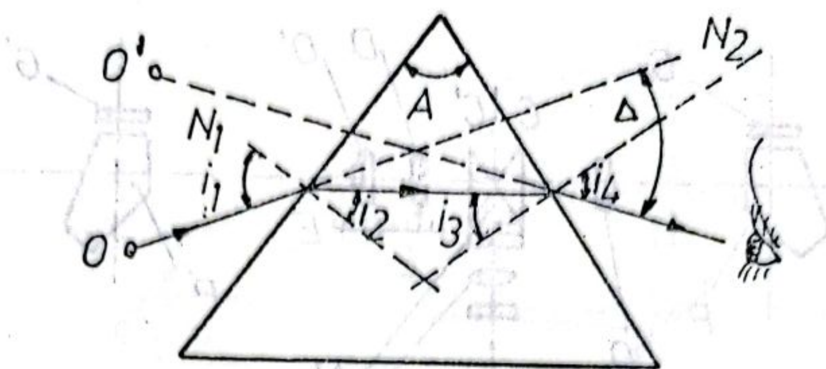


Fig. II.3

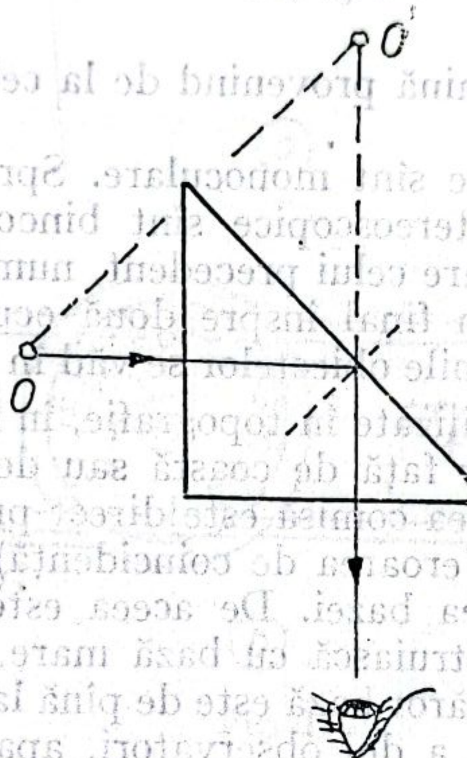


Fig. II.4

optic decît mediul din care a ieșit. Imaginea punctului O este văzută de ochiul aflat în calea razei emergente, în prelungirea acesteia, deci în O'. Δ se numește unghi de deviație, iar A unghiul prismei.

În cazul unei prisme cu secțiunea transversală un triunghi dreptunghic isoscel, numită *prismă cu reflexie totală*, formarea imaginii unui punct obiect este arătată în figura II.4, iar a unui obiect în figura II.5. Cu două astfel de prisme se poate construi un periscop simplu ca în figura II.6. Desigur că în locul prismelor se pot folosi oglinzi plane, însă luminozitatea va fi mai mică, deoarece oglinzile au un factor de reflexie de 90—92% și deci 10—8% din fluxul luminos incident se

pierde. În cazul prismelor cu reflexie totală însă nu se pierde nimic.

Denumirea de periscop derivă de la cuvintele grecești, *peri*, care înseamnă *în jur* și *skopein* care înseamnă *a privi, a observa, a examina*. Periscopul este un instrument prețios

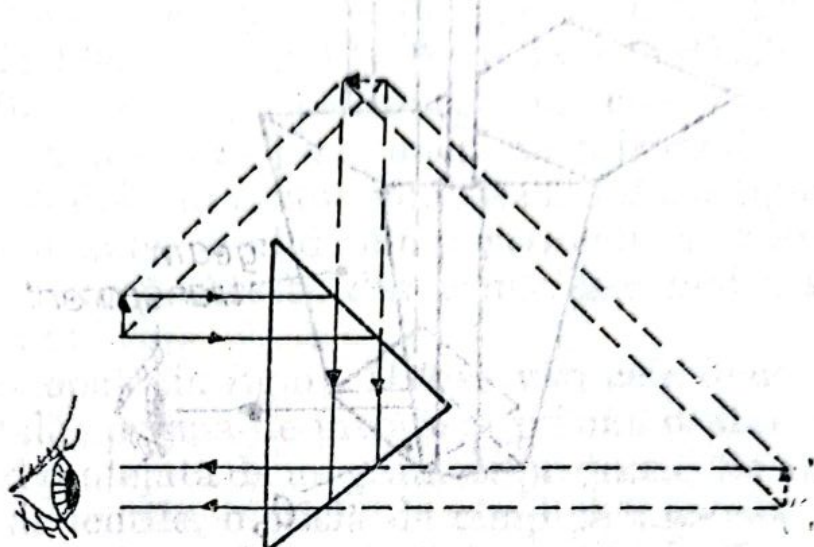


Fig. II.5

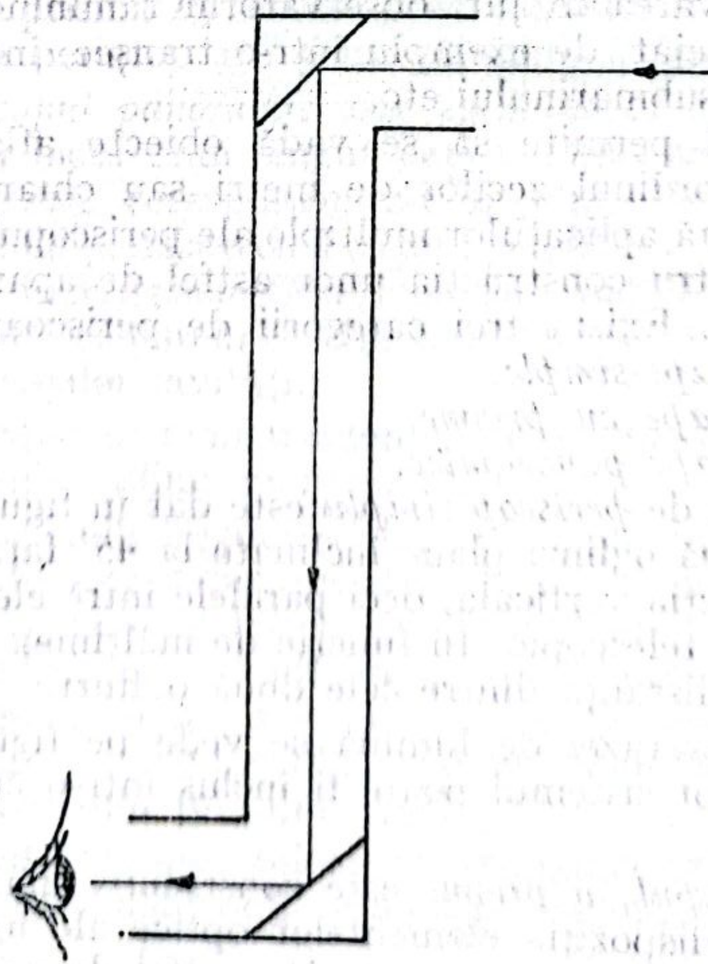


Fig. II.6

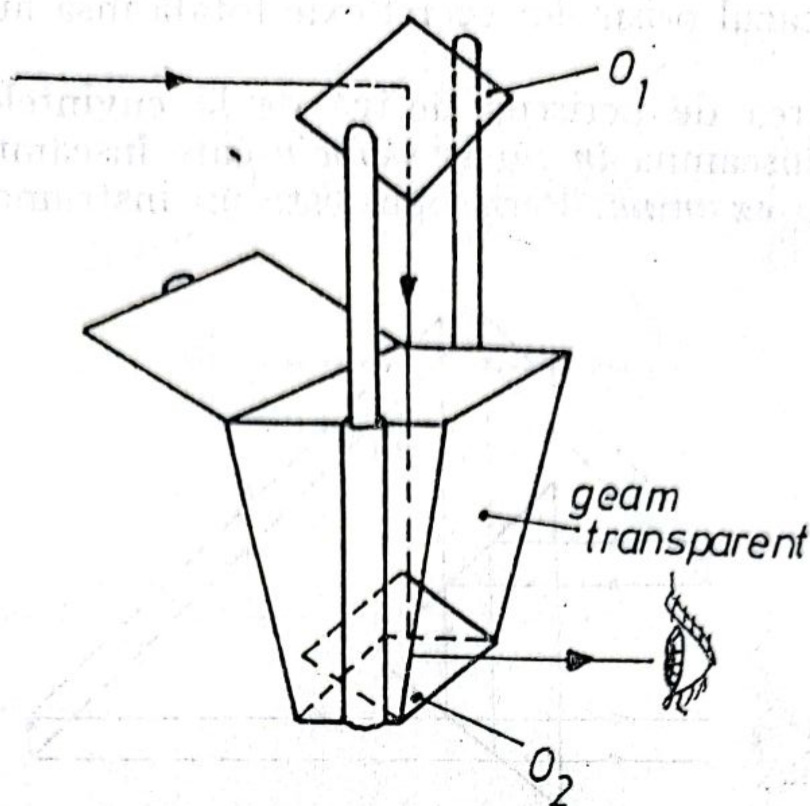


Fig. II.7

pentru observarea în jur, observatorul rămînînd bine disimulat și protejat, de exemplu într-o tranșee, într-o groapă, în interiorul submarinului etc.

Periscopul permite să se vadă obiecte aflate pînă la distanțe de ordinul zecilor de metri sau chiar sutelor de metri. Datorită aplicațiilor multiple ale periscopului a crescut interesul pentru construcția unor astfel de aparate cît mai perfecționate. Există trei categorii de periscoape:

a) *periscoape simple,*

b) *periscoape cu prisme,*

c) *periscoape panoramice.*

a) Un tip de *periscop simplu* este dat în figura II.7 constînd din două oglinzi plane înclinate la 45° față de orizontală sau direcția verticală, deci paralele între ele și instalate pe un sistem telescopic. În funcție de înălțimea obstacolului se modifică distanța dintre cele două oglinzi.

Traiectoria razei de lumină se vede pe figură. Se mai observă că tot sistemul poate fi închis într-o cutie de protecție.

b) *Periscopul cu prisme* este constructiv mai complicat. Redăm aici dispoziția elementelor optice ale unui periscop perfecționat, folosit în marină. Un astfel de periscop poate ajunge să cîntărească pînă la 800 kg, deoarece, așa cum se

vede pe figura II.8, cuprinde în alcătuirea sa multe piese optice. În locul oglinzilor sînt două prisme cu reflexie totală. Cu ajutorul lui se măsoară azimuturi și se determină poziții ale obiectelor vizate, datorită unui sistem de gradare. *Prisma de cap* (prismă de intrare sau prismă obiectiv) poate efectua o mișcare în plan orizontal în jurul axei verticale, descriind un cerc (360°), iar unele periscoape sînt construite în așa fel încît se pot mișca și în jurul unei axe orizontale.

Pe submersibile se găsesc întotdeauna două tipuri de periscoape îngemănate: unul denumit *periscop „de veghe"* și altul *periscop „de atac"*. Acesta din urmă este mai discret, mai bine disimulat.

În periscopul din figura II.8 se văd cele două prisme cu reflexie totală: prisma de intrare și prisma ocular, prisma de intrare fiind protejată de un geam de protecție. Se mai observă un sistem de lentile, o sticlă de cîmp pe care s-a gravat un reticul în cruce și o scală gradată. Lentilele L_1, L_2 etc. trebuie să fie în număr impar pentru ca imaginea finală să fie dreaptă (nu inversă), adică așa cum este în realitate. Prisma P_1, ocularul O și prisma P_2 servesc pentru măsurări de azimuturi. Un astfel de periscop are și un grosisment de minim 1,5 ×.

c) *Periscopul panoramic* este asemănător cu cel descris, numai că în locul unui singur cap are mai multe astfel de capete, fiecăruia corespunzîndu-i un cîmp de pînă la 90°. Înseamnă că un periscop cu 4 capete permite să se vadă simultan în toate meridianele fără deplasări. Astfel de periscoape sînt prevăzute cu sistem de iluminare și servesc, de pildă, la explorarea marilor cavități.

Periscoapele sînt instrumente cu utilizări multiple în diverse domenii: militar, marea industrie, industria chimică ș.a.

În oțelării, unde lingourile sînt sparte ori prelucrate mecanic, operațiile sînt supravegheate de la distanță, printr-un periscop, observatorul fiind instalat într-un adăpost, adică protejat atît împotriva bucăților de lingou care sar în timpul operațiilor menționate mai sus, cît și împotriva căldurii. De asemenea, mai sînt utilizate și la controlarea metalului lichid care iese din furnalul înalt.

Periscopul mai este folosit în industria chimică, atunci cînd trebuie să se controleze și manipuleze substanțe care sînt foarte toxice.

Periscopul este prezent și în sala mașinilor din anumite uzine de distribuire a apei. Cu ajutorul unui periscop special

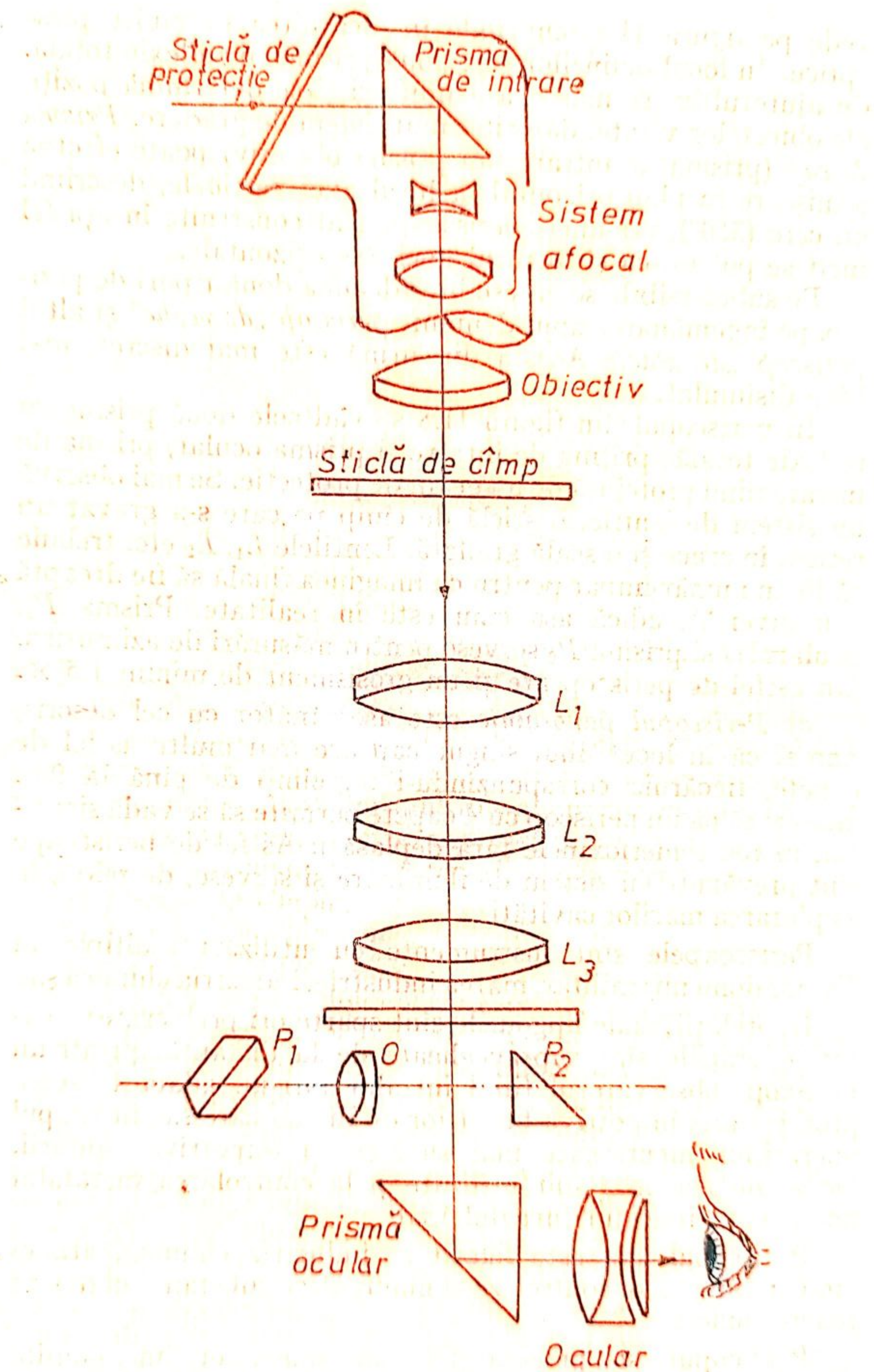

Sticlă de protecție
Prismă de intrare
Sistem afocal
Obiectiv
Sticlă de cîmp
L1
L2
L3
P1
O
P2
Prismă ocular
Ocular

Fig. II.8

se controlează nivelul apei în puțuri și prin scufundarea lui în apă se examinează depozitele de pe funduri.

S-au construit tipuri speciale de periscoape necesare manevrărilor la distanțe, în camere „calde", adică supuse radiațiilor radioactive. De asemenea, s-au construit periscoape ce ating o lungime de 30 m, necesare explorării cavităților de mari dimensiuni.

La unele tipuri de periscoape s-au adaptat dispozitive care permit proiectarea imaginilor pe un ecran mat.

O precizare: numărul lentilelor din tubul periscopului depinde de raportul dintre lungimea tubului și diametrul său; cu cît lungimea este mai mare și diametrul mai mic cu atît este mai mare numărul de lentile.

II.3. Camera clară?

Da, așa se numește dispozitivul care adaptat la un microscop permite să se deseneze pe o hîrtie tot ceea ce se vede în cîmpul microscopului. Sînt două variante ale acestui dispozitiv (fig. II.9, a, b). Prima variantă (fig. II. 9, a) cuprinde o prismă, P_1, permițînd o dublă reflexie totală, fixată cu o extremitate deasupra ocularului unui microscop. Această extremitate a lui P_1 împreună cu prisma P_2, lipită de P_1,

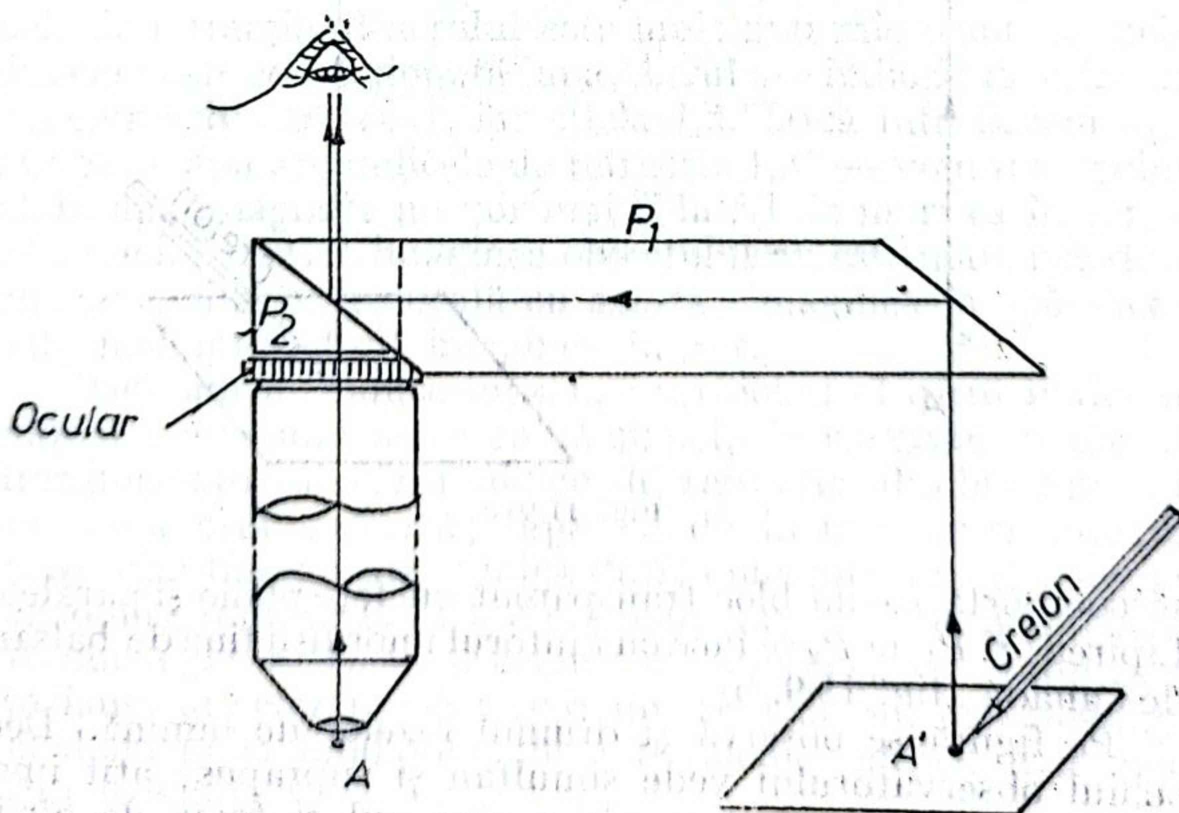


Fig. II.9 a

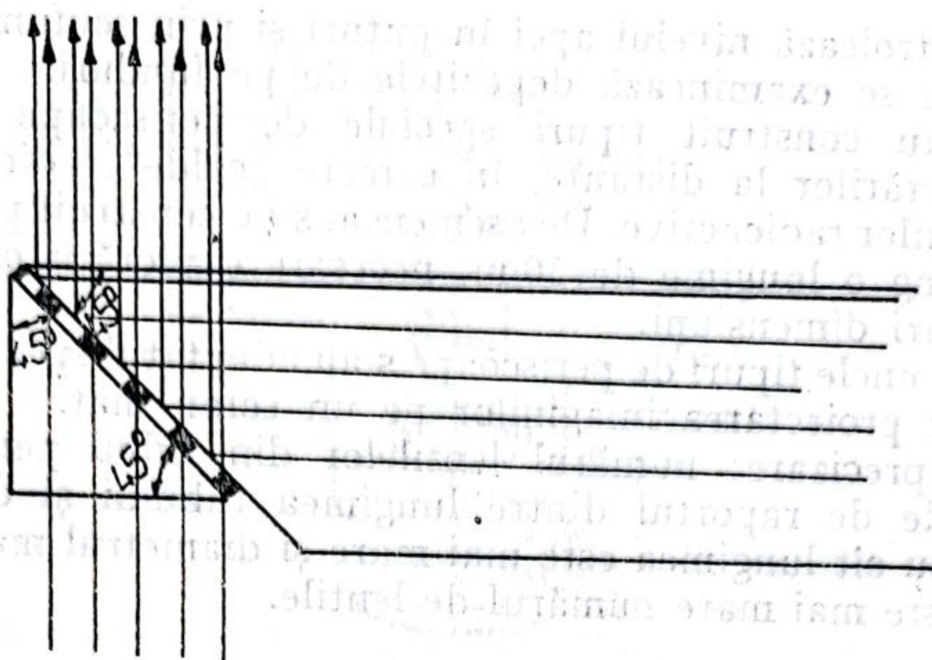


Fig. II.9 b

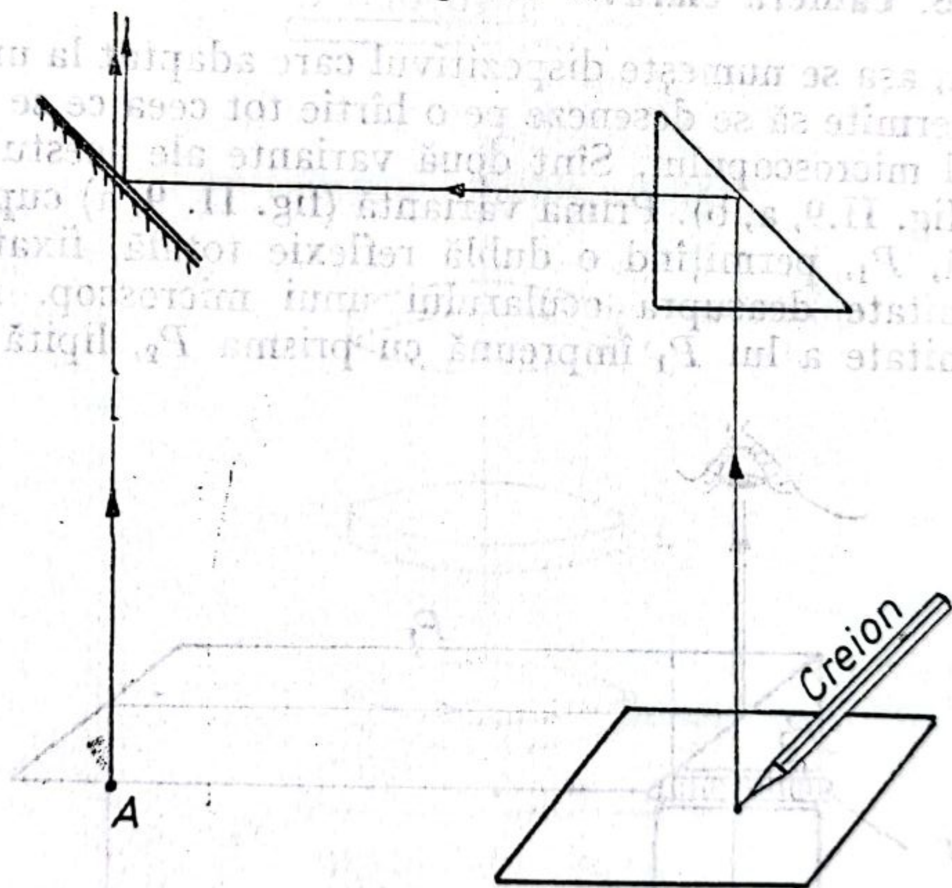


Fig. II.9 c

se comportă ca un bloc transparent cu fețe plane și paralele. Lipirea lui P_1 de P_2 se face cu ajutorul unor fîșii fine de balsam de Canada (fig. II.9, b).

Pe figură se observă și drumul razelor de lumină. Deci ochiul observatorului vede simultan și suprapuse atît imaginea dată de microscop, cît și creionul și foaia de hîrtie pe care trebuie desenată imaginea. În figura II.9, c se arată

o cameră clară care cuprinde o oglindă plană semiargintată şi o prismă cu reflexie totală. Şi aici este redat drumul razelor de lumină.

Camera clară este utilizată foarte mult de botanişti, anatomişti, biologi ş.a. În laboratoare este folosită şi pentru determinarea grosismentului microscopului. În acest scop se mai foloseşte şi un micrometru obiectiv (o riglă din sticlă, cu grosimea foarte mică, divizată pe una din feţe). Se compară imaginea acestui micrometru cu imaginea unei hîrtii milimetrice pe care însemnăm cu creionul un anumit număr de diviziuni ale micrometrului; şi cum la microscop grosismentul (mărirea unghiulară) este egal cu grandismentul (mărirea liniară transversală), din raportul numărului de diviziuni de pe hîrtia milimetrică şi numărul de diviziuni de pe micrometru, convertite în milimetri, rezultă grosismentul microscopului.

II.4. O lupă dă imagini ... micşorate, iar o lentilă divergentă dă imagini ... mărite?

Prin lupă se pot vedea imagini mărite ale obiectului care interesează. Imaginile sînt virtuale; nu se pot „prinde“ pe un ecran. Să nu uităm că lupa o folosim în aer şi că indicele de refracţie al aerului este mult mai mic decît al sticlei din care este confecţionată lupa. Aerul are indicele de refracţie aproximativ egal cu 1, iar sticla 1,5. Dacă introducem lupa în apă — apa are indicele de refracţie 1,33 — vom fi surprinşi că în apă imaginile nu vor mai fi la fel de mari ca în aer, ci mai mici. Atenţie! Imaginea obiectului nu este mai mică decît obiectul, ci aproape egală cu acesta; imaginea în apă sărată este mai mică decît imaginea în aer.

Dacă am introduce lupa într-un lichid al cărui indice de refracţie este mai mare ca al sticlei, de exemplu în ulei de transformator al cărui indice de refracţie absolut este 1,6, am avea altă surpriză; lupa va da imagini micşorate ale obiectului (imagine mai mică decît obiectul). La fel dacă am introduce lupa în sulfură de carbon (are indicele de refracţie absolut egal cu 1,63). (Fenomenul se explică cu ajutorul invariantului refracţiei denumit invariantul Snellius-Descartes şi al formulei fundamentale a lentilelor subţiri. Aici, însă, fără formule).

În apă distanţa focală a lupei este mai mare decît distanţa focală în aer şi de aceea sticla din care este confecţionată lupa

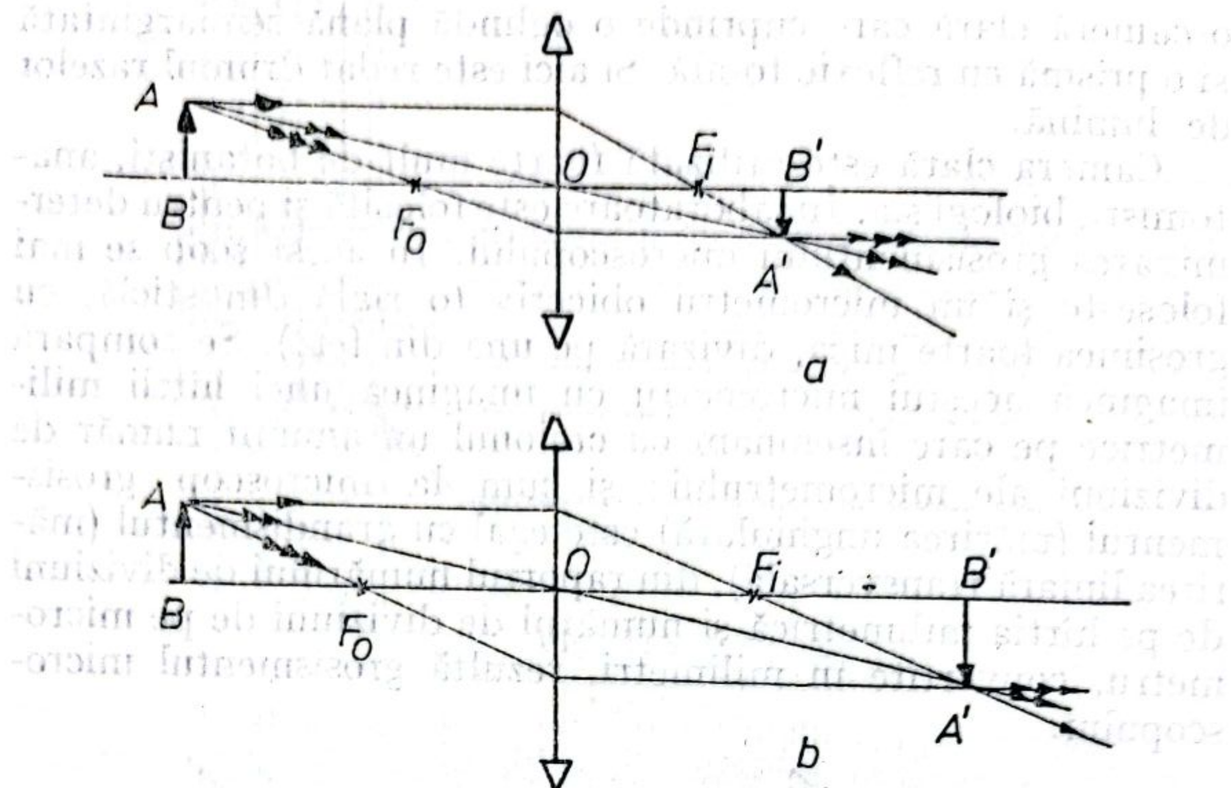


Fig. II.10

refractă mai puțin lumina decît în aer; cu alte cuvinte între indicele de refracție absolut al sticlei și cel al apei este o diferență mai mică decît între indicele de refracție al sticlei și al aerului. Ca atare, cînd razele de lumină trec din sticlă în apă sînt deviate mai puțin decît atunci cînd trec din sticlă în aer. În figura II.10, a,b se arată clar acest lucru. Atenție! În cazul lentilelor convergente cu distanța focală de peste 5 cm, cînd obiectul este dincolo de focarul obiect, imaginile reale, în apă, sînt mai mari decît în aer.

Acum să privim un obiect printr-o lentilă divergentă. Imaginea este mai mică decît obiectul. Introducînd-o în apă vom observa, spre surprinderea noastră, că imaginea obiectului va apărea mai puțin micșorată decît în aer. În apă sărată, însă, lentila divergentă dă imagini mai mari decît în aer, în timp ce lupa dă imagini micșorate. Explicația este similară ca aceea dată mai sus.

Folosind o lupă putem aprinde o bucățică de hîrtie, o bucățică de film fotografic sau fosforul de pe un băț de chibrit, o bucățică de vată ș.a. Dar același efect îl putem obține cu ajutorul gheții. Se poate confecționa o lupă de gheață folosind un vas ca cel din figura II.12, a, preferabil din material plastic, în care turnăm apă și apoi, dacă este iarnă și e ger afară lăsăm vasul pe balcon sau altundeva ca

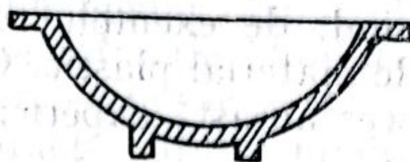


Fig. II.11 a

să înghețe apa. Dacă nu este iarnă sau nu e ger, introducem vasul în congelatorul frigiderului. Apoi detașăm [1] cu grijă lupa formată și experimentăm ca și cu lupa de sticlă. În locul unei lupe de gheață se poate folosi, chiar o lupă de apă. O sferă din sticlă ori material plastic transparent, cu pereți subțiri, care este goală, o umplem cu apă și . . . gata lupa.

Celebrul scriitor francez Jules Verne, în cartea sa *Călătoriile căpitanului Hatteras* descrie o situație în care se află căpitanul și un doctor, în care acesta din urmă, confecționîndu-și o lentilă din gheață, a reușit să aprindă focul.

Mai arătăm că, în anul 1763, în Anglia s-a făcut o experiență în care a fost aprinsă o bucățică de lemn cu ajutorul unei lentile de gheață (lentilele trebuie să aibă distanța focală foarte mică, pînă la 10 cm, pentru a nu se depărta observatorul prea mult de obiectul ce trebuie aprins).

Se mai poate obține o lupă în felul următor: o bucățică de sîrmă se modelează ca în figura II.11, b și se introduce într-un vas cu apă. După scoaterea din apă avem . . . o lupă. Diametrul buclei trebuie să fie de 3—4 mm. Se pot confecționa

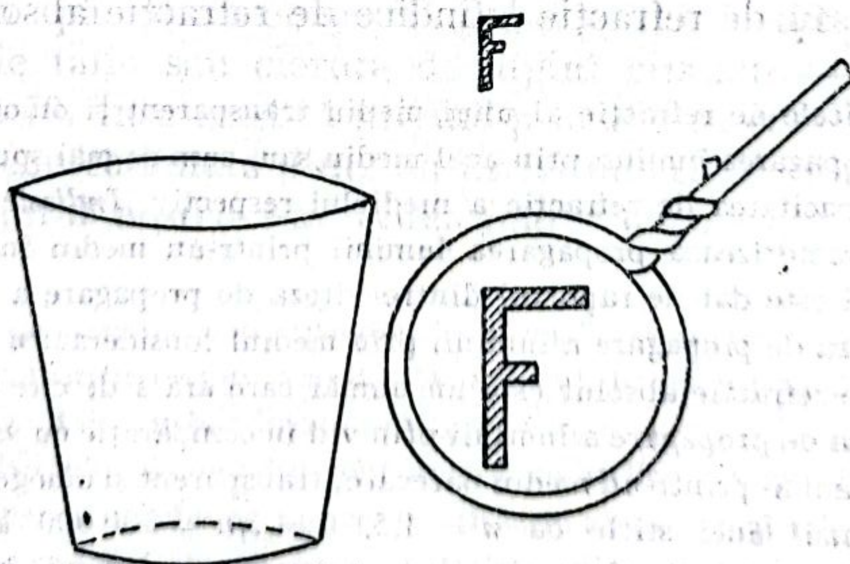


Fig. II.11 b

[1] Pentru detașarea lentilei trebuie ușor încălzit vasul.

astfel de bucle folosind, de exemplu, un cui, o vergea de metal, de lemn sau de material plastic. Orice fizician amator poate încerca cu succes această experiență.

II.5. Cum văd scafandrii sub apă?

Cititorii știu că scafandrii folosesc ochelari în timpul scufundării lor, dar nu toți știu că acești ochelari au lentile plan concave goale în interior. De aceea, aceste lentile sînt ușoare, deși au diametrul mare, iar imaginile observate sînt aproximativ egale cu ale obiectului.

Geamurile hublourilor submarinelor sînt din plexiglas sau alt material rezistent la presiuni mari. Lumina, după ce trece prin acest geam, străbate aerul existent între geam și observator. Geamul avînd fețele plane și paralele produce o ușoară deplasare a direcției razelor luminii. După traversarea stratului de aer, lumina pătrunde în ochii privitorilor unde se comportă obișnuit. Așa fiind, ochii recepționează ca pe uscat. La fel se explică de ce vedem foarte bine viețuitoarele și obiectele dintr-un acvariu.

II.6. Cum văd înotătorii sub apă?

Înotătorii care au făcut antrenament suficient reușesc să stea cu ochii deschiși sub apă, putînd astfel să vadă în jurul lor.

Fiecare substanță transparentă este caracterizată prin indicele său de refracție [1] (indice de refracție absolut). Cînd

---

[1] Indicele de refracție al unui mediu transparent și omogen caracterizează propagarea luminii prin acel mediu sau, cum se mai spune, caracterizează capacitatea de refracție a mediului respectiv. *Indicele de refracție absolut* caracterizează propagarea luminii printr-un mediu în comparație cu vidul și este dat de raportul dintre viteza de propagare a luminii prin vid și viteza de propagare a luminii prin mediul considerat: $n = c/v$. Deci, indicele de refracție absolut este un număr care arată de cîte ori este mai mare viteza de propagare a luminii prin vid în comparație cu viteza de propagare a luminii printr-un mediu oarecare, transparent și omogen. De exemplu, în cazul unei sticle cu $n = 1{,}5$, $v = c/n = 200\,000$ km/s (în vid $c = 300\,000$ km/s). Așadar, viteza de propagare a luminii în sticlă este mult mai mică decît viteza de propagare a luminii prin vid. De aceea, la trecerea luminii din vid (sau din aer; viteza de propagare a luminii prin aer este aproximativ egală cu viteza de propagare a luminii în vid) în sticlă,

lumina trece dintr-un mediu într-altul, mediile fiind adiacente și cu indici de refracție absoluți diferiți, își schimbă direcția de propagare — se refractă. Dacă mediile ar avea același indice de refracție, atunci lumina ar trece nedeviată. Se știe că indicele de refracție absolut al apei este $\frac{4}{5}$, adică $n = 1,33$, iar părțile transparente ale ochiului omenesc au indici de refracție după cum urmează: corneea are $n = 1,37$, cristalinul are $n = 1,41$, iar umoarea apoasă are $n = 1,33$. Diferența dintre indicele de refracție al cristalinului și al apei este de 0,08 și se spune că, cristalinul are capacitatea de refracție cu 0,08 mai mare decît al apei și a celorlalte părți ale ochiului. Dar celelalte părți ale ochiului au același indice de refracție cu al apei. Așa fiind, se poate afirma că razele de lumină care trec din apă în ochi, venind de la un obiect, nu suferă fenomenul de refracție, spre deosebire de cazul cînd ochiul și obiectele sînt în aer ($n_{aer} \simeq 1$). Privind în apă, așa cum am arătat, imaginile se formează în spatele retinei și din acest motiv imaginile nu sînt clare, ci cețoase; din această cauză nu se pot distinge amănunte. Interesant este faptul că miopii văd mai bine sub apă decît în aer, deoarece în ochiul miop retina este mai depărtată de cristalin în comparație cu ochiul normal (emetrop). Faptul că miopii văd mai bine sub apă se poate verifica ușor astfel: privim printr-o lupă cu grosisment mare, sau prin ochelarii unui miop; obiectele nu ne vor apărea clar, ci ca niște pete voalate, ca și cum am privi prin apă. Sticla obișnuită are $n = 1,5$, în timp ce hologenura de taliu sau clorura de argint cristalizată are $n = 2,4—2,78$. Înseamnă că privind prin apă cu ochelari, avînd lentilele confecționate dintr-un astfel de cristal, toate obiectele din jurul nostru s-ar vedea foarte clar.

---

direcția ei de propagare se apropie de normala în punctul de incidență. *Indicele de refracție relativ* este dat de raportul dintre viteza de propagare a luminii prin două medii adiacente: $n_{2,1} = v_1/v_2 = n_2/n_1$, $v_1 > v_2$. De reținut că atunci cînd lumina trece dintr-un mediu cu indice de refracție absolut mai mare într-un mediu cu indice de refracție absolut mai mic, direcția ei de propagare se depărtează de normala în punctul de incidență și invers, cînd o rază de lumină trece dintr-un mediu cu indice de refracție absolut mai mic într-un mediu cu indice de refracție absolut mai mare, raza refractată se apropie de normala în punctul de incidență.

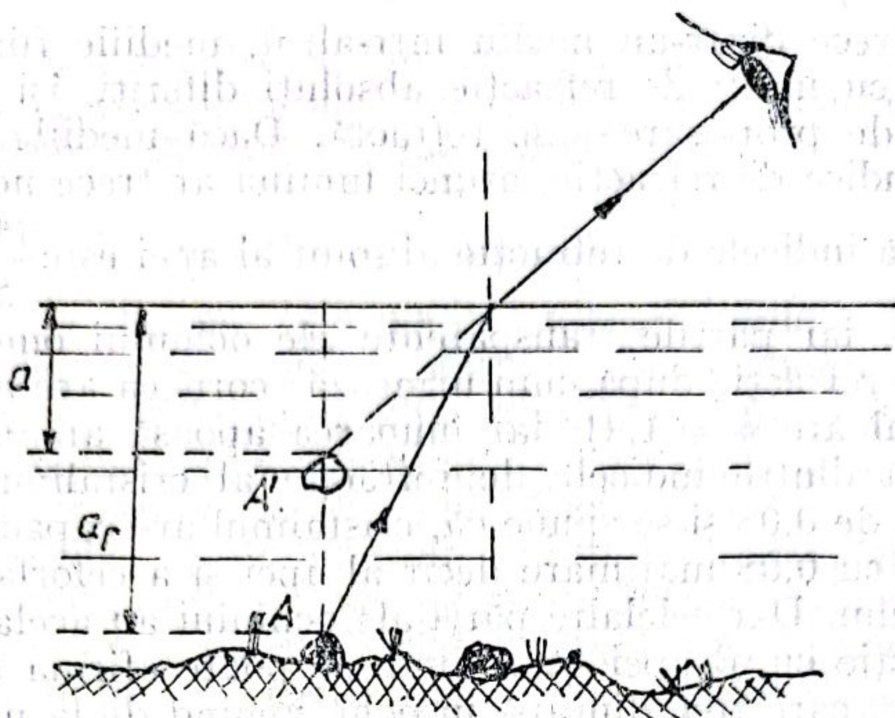


Fig. II.12

Privind figura II.12 înțelegem imediat de ce un obiect aflat pe fundul unei ape este văzut la o adîncime mai mică decît cea reală. Desenul este puțin exagerat pentru a evidenția mai bine fenomenul. Deplasarea AA' se determină simplu:

Adîncimea reală (a_r) = indicele de refracție absolut al apei (n) × adîncimea aparentă (a)

Un exemplu ne va facilita înțelegerea fenomenului. Să presupunem că apreciem adîncimea unei ape ca fiind de 1 m; cum $n = 1,333$ (pentru apă pură), rezultă că $h = 1,333$ m. Așadar, adîncimea reală este de 1,333 m, deci atenție la adîncimea reală a apei. În mod analog se poate determina grosimea blocurilor transparente.

II.7. Cum sînt văzute obiectele de pe malul unei ape limpezi de înotătorii aflați în apă, sub nivelul acesteia?

Figura II.13 arată cazul cînd un observator se află complet în apă și privește un obiect de pe mal, de exemplu un copac. Să presupunem că el apreciază că un punct A al copacului, reprezentat pe figură, se află în A' la înălțimea a față

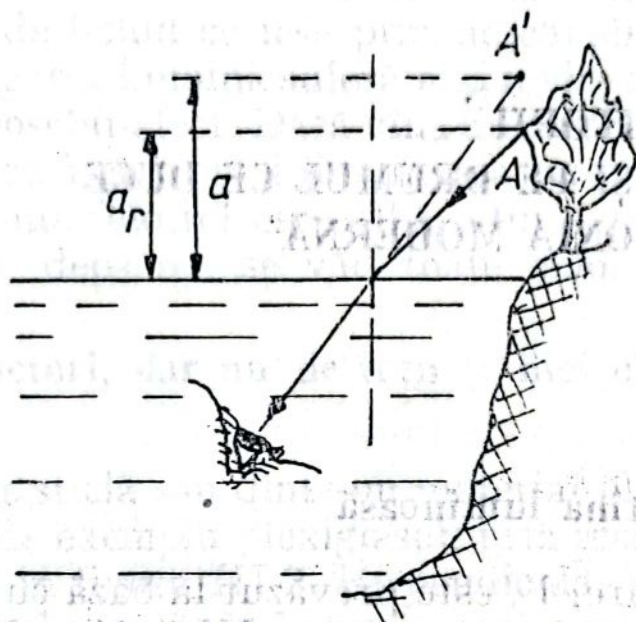


Fig. II.13

de nivelul apei. Pentru a afla înălţimea reală, a_r se foloseşte relaţia:

Înălţimea reală $= \frac{1}{n} \times$ înălţimea aparentă, n fiind indicele de refracţie absolut al apei $\left(a_r = \frac{a}{n}\right)$. Pentru $a = 2$ m, se obţine: $a_r = \frac{6}{4} = 1{,}5$ m.

În ambele cazuri rezultatele obţinute prin calcul sînt aproximative. Ele sînt mai exacte cînd se priveşte în vecinătatea normalei N, în punctul de incidenţă a razei de lumină.

Capitolul III

ÎN CARE CITITORII SÎNT CONDUȘI PE DRUMUL CE DUCE SPRE TELEFONIA MODERNĂ

III.1. Fîntîna luminoasă

Un vas mare, *V*, este prevăzut la bază cu două deschideri laterale diametral opuse, figura III.1. Una dintre deschideri, *A*, este acoperită etanș cu un geam transparent, iar cealaltă *B*, este liberă, dar închisă inițial cu un dop. În vas se introduce apă. Prin deschiderea *A* se trimite un fascicul luminos îngust, suficient de intens și se scoate dopul. Lichidul

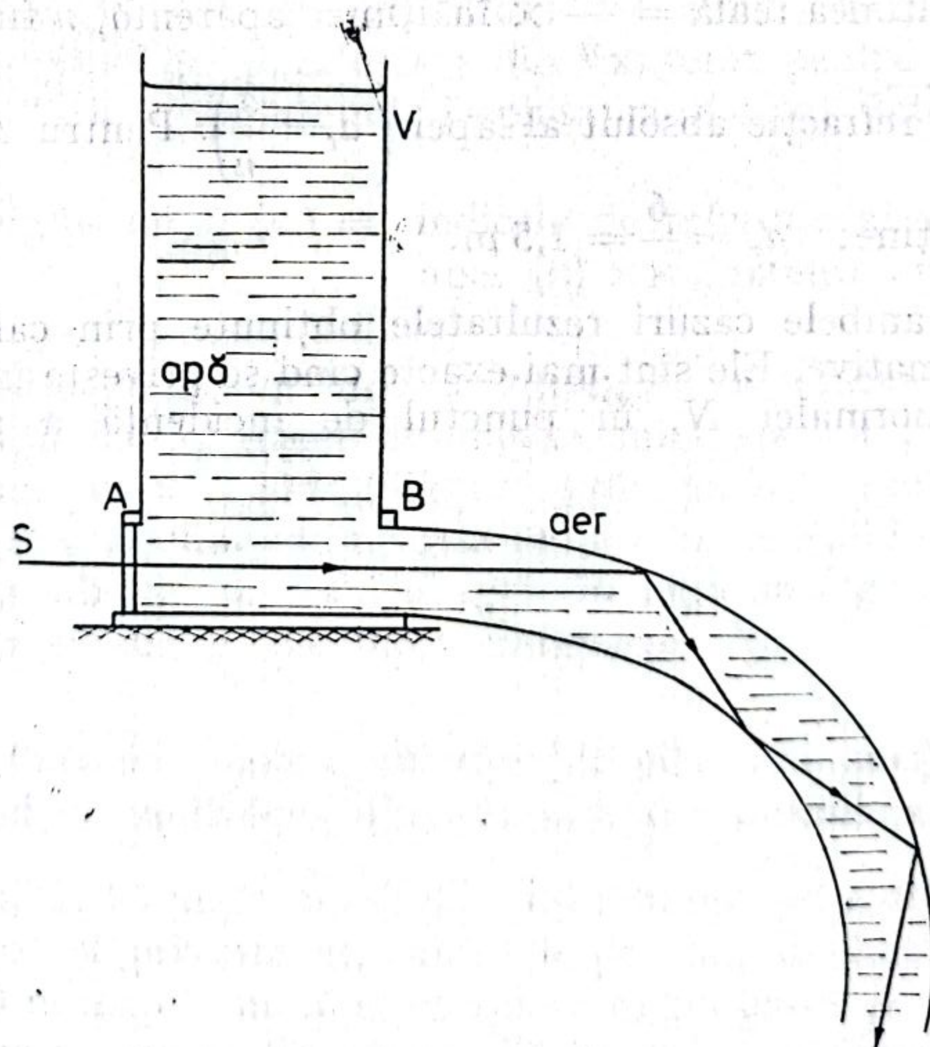


Fig. III.1

curge formîndu-se o vînă de lichid. Traiectoria razelor de lumină în vîna de lichid ce iese prin deschiderea *B* se vede foarte bine pe figură. Lumina suferă mai multe reflexii totale, producînd un deosebit efect. Dacă vîna de lichid se transformă în picături fine de apă, atunci iluminarea este mai puternică. În cazul că lumina folosită este albă, atunci fenomenul este mai spectaculos, deoarece se văd toate culorile spectrului.

III.2. Conductori, dar nu de tren și nici electrici, ci de lumină

O baghetă de sticlă sau dintr-un material plastic transparent, cum ar fi de exemplu plexiglasul, prin încălzire poate fi curbată ușor ca în figura III.2. Perpendicular pe fața *A* trimitem nu fascicul îngust de lumină monocromatică; acesta, după ce suferă mai multe reflexii totale, iese prin fața *B*, dînd pe un ecran *E*, aflat în apropiere, un spot luminos. Aparent, drumul urmat de lumină este curb, în realitate, însă, drumul străbătut de lumină este cel care se vede pe figură, analog cu fîntîna luminoasă.

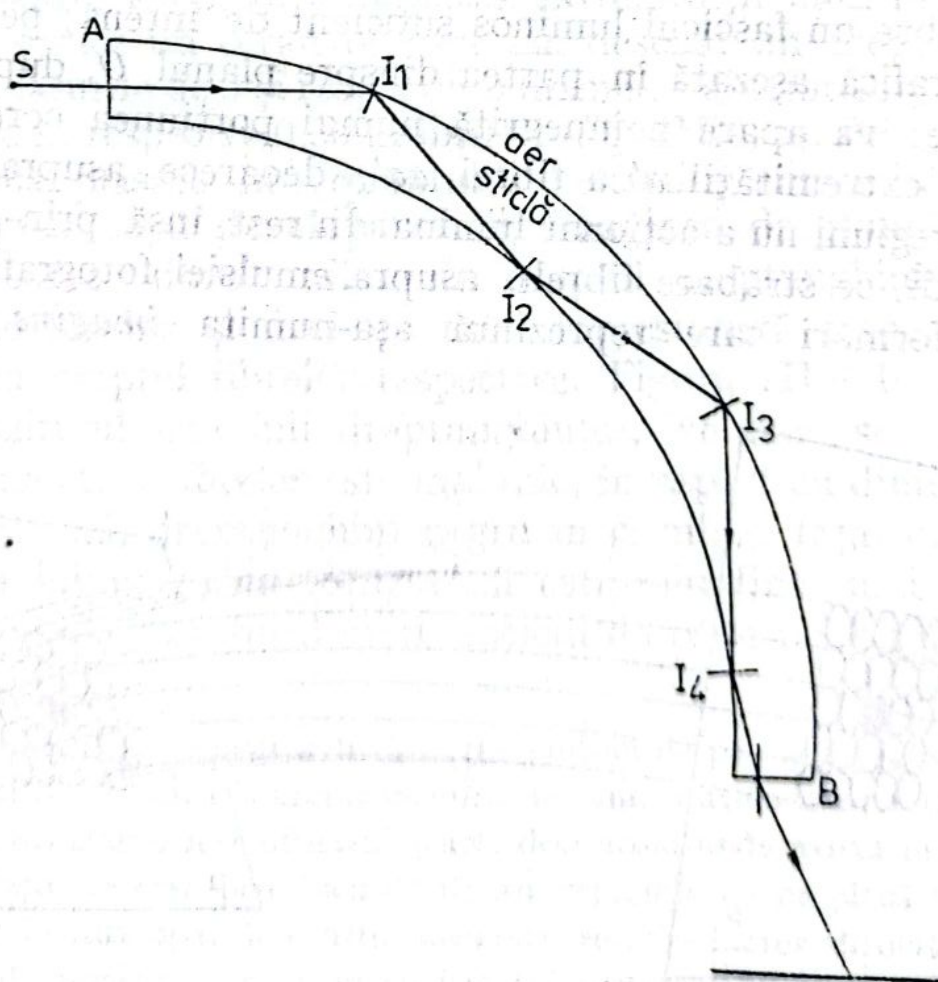


Fig. III.2

Traiectoria razelor de lumină este similară în cazul unei baghete drepte. Neglijîndu-se absorbţia în materialul din care este confecţionată bagheta şi imperfecţiunile materialului, întregul flux luminos ce pătrunde în baghetă se regăseşte la ieşirea din aceasta. Conchidem că bagheta, fie ea curbă ori dreaptă, se comportă ca un *„conductor" de lumină*. Conductorii de lumină au numeroase aplicaţii; unele dintre ele le vom arăta mai departe.

III.3. Fascicule de fibre optice

Să considerăm acum un fascicul paralel format dintr-un număr foarte mare de fibre optice foarte subţiri, fiecare fibră avînd diametrul de aproximativ 50 μm (0,05 mm) şi cu lungimea de cîteva zeci de centimetri. Pentru fixarea ideilor vom reprezenta în desen un fascicul format din 25 de fibre cu diametrul mult mărit. Feţele fasciculului sînt cuprinse în planele *P* şi *Q* (figura III.3). Înnegrim feţele unei fibre, *a* şi *a'*, şi apoi trimitem spre faţa din planul *P* al fasciculului din fibre un fascicul luminos suficient de intens; pe o placă fotografică aşezată în partea dinspre planul *Q*, după developare, va apare neînnegrită numai porţiunea corespunzătoare extremităţii *a'* a fibrei *aa'*, deoarece asupra acestei mici regiuni nu a acţionat lumina. În rest, însă, prin acţiunea luminii, ce străbate fibrele, asupra emulsiei fotografice apar transformări care reprezintă aşa-numita *imagine latentă*.

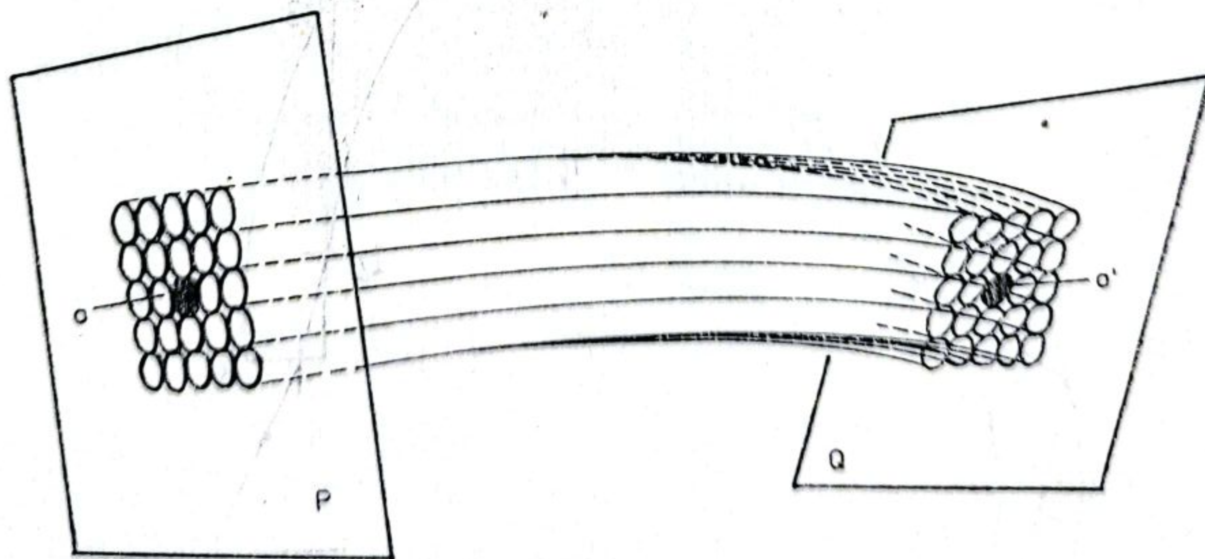


Fig. III.3

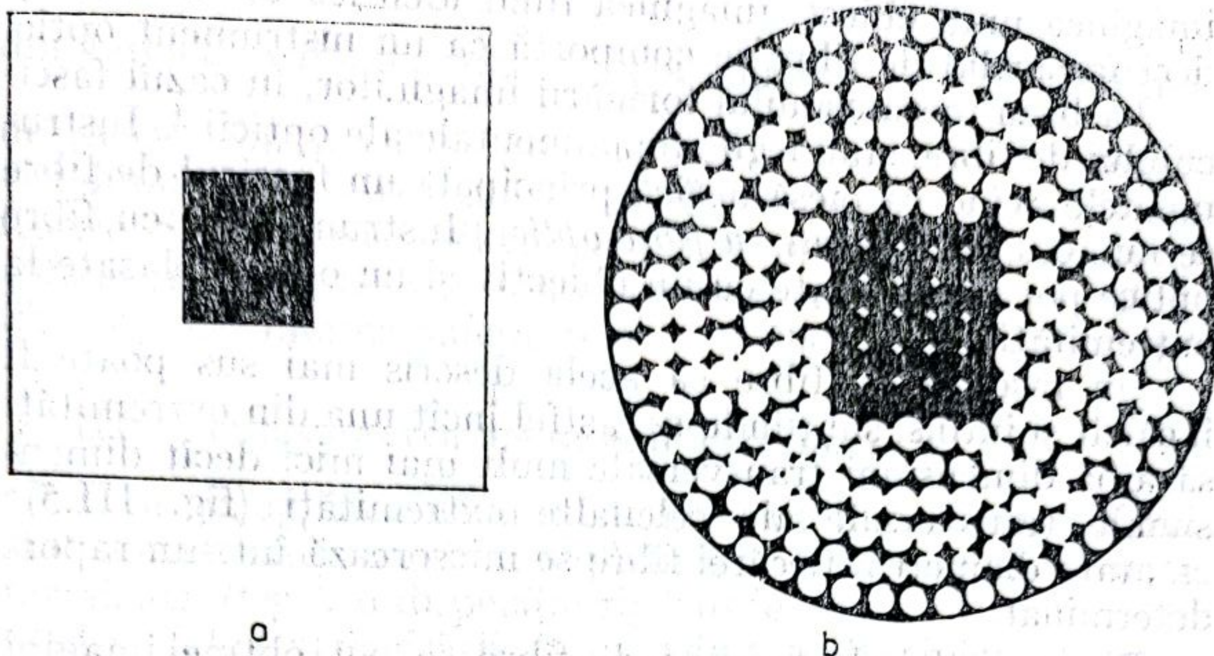


Fig. III.4

Introducînd placa fotografică într-o soluție revelator[1] se obține negativul fotografiei. Pozitivul se realizează foarte ușor.

Să plasăm acum în apropierea extremității unui fascicul de fibre optice un ecran pe care am desenat un dreptunghi negru cu laturile de 5 și respectiv 6 diametre ale fibrelor, adică de 0,25 mm, respectiv 0,30 milimetri (fig. III.4, a). Pe o placă fotografică plasată în vecinătatea celeilalte extremități se va observa, după developarea ei, imaginea dreptunghiului albă, deoarece fibrele aflate în dreptul dreptunghiului nu transmite lumina și deci nu este impresionată placa fotografică în dreptul fibrelor respective. Figura III.4, b reprezintă pozitivul imaginii dreptunghiului. Ne dăm seama că cu cît diametrul fibrelor este mai mic, în raport cu dimensiunile obiectului, dreptunghiul negru în cazul de față, cu atît imaginea lui pe placa fotografică este mai fină, mai netă. Prin urmare, cu ajutorul unui fascicul de fibre putem obține

[1] Prin acțiunea revelatorului asupra emulsiei de pe placă, halogenura de argint se reduce pînă la argint metalic, dar numai acolo unde a acționat lumina atunci cînd a fost utilizată placa, deci acolo unde există imaginea latentă. După trecerea prin baia de fixare, regiunile de pe placă în care a acționat lumina apar înnegrite, deoarece soluția-fixator dizolvă acele particule de halogenură care nu au fost influențate de lumină, rămînînd astfel numai imaginea formată din particule de argint metalic.

imaginea unui obiect, imaginea fiind identică cu obiectul și deci fasciculul de fibre se comportă ca un instrument optic.

La baza mecanismului formării imaginilor, în cazul fasciculului de fibre, stau legile fundamentale ale opticii [1]. Instrumentele avînd ca piesă optică principală un fascicul de fibre se numesc *instrumente cu fibre optice*. Instrumentele cu fibre optice pot fi înzestrate cu un obiectiv și un ocular plasate la extremități.

Un fascicul de fibre ca acela descris mai sus poate fi încălzit și întins, subțiindu-se, astfel încît una din extremități să aibă dimensiuni transversale mult mai mici decît dimensiunile transversale ale celeilalte extremități (fig. III.5); ca atare diametrul fiecărei fibre se micșorează într-un raport determinat.

Cu un astfel de fascicul de fibre se pot obține imagini mărite sau micșorate după poziția obiectului față de extremitățile fasciculului, fără a se folosi vreun obiectiv sau ocular. De pildă, dacă obiectul va fi plasat în fața extremității Q, imaginea obținută va fi mărită, iar dacă obiectul va fi așezat în fața extremității P, imaginea obținută în partea Q va fi micșorată. Imaginea poate fi reală sau virtuală.

S-au confecționat fascicule din fibre transparente sintetice sau din fibre de sticlă. Astfel de fasicule sînt flexibile și pot fi modelate după cerințe. Dacă la intrarea într-un astfel de fascicul energia luminoasă are valoarea E, atunci la ieșirea

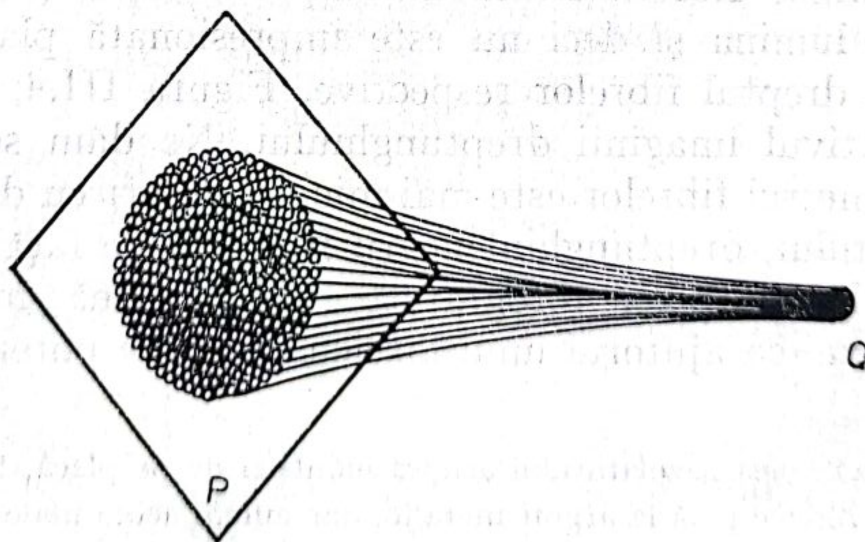


Fig. III.5

[1] Legea propagării rectilinii a luminii, legea reflexiei luminii, legea refracției luminii și legea independenței propagării razelor de lumină.

din fascicul valoarea este de aproximativ $\frac{1}{2}E$. Pierderea de energie luminoasă se produce îndeosebi din cauza absorbției luminii de către substanța din care sînt confecționate fibrele. Se admite că reflexia în interiorul fibrelor este aproape totală și că în fiecare fibră dintr-un astfel de fascicul de fibre optice, lumina suferă pînă la 48 000 de reflexii totale [1].

III.4. Transmiterea mesajelor confidențiale

Să ne imaginăm acum un fascicul de fibre în care fibrele sînt amestecate ca într-o împletitură, păstrîndu-se pe fețele terminale *P* și *Q* o dispoziție riguros identică a fibrelor. Așezînd în fața extremității *P* un obiect și iluminîndu-l, pe un ecran așezat în fața extremității *Q* se obține o imagine identică cu obiectul. În cazul că extremitatea *Q* nu este identică cu *P* (fig. III.6), imaginea obiectului apare deformată. Să presupunem acum că un fascicul de fibre avînd împletituri, este tăiat în două părți, fețele *P* și *Q* fiind identice prin construcție (fig. III.7). Fețele *p*, *q* rezultate după tăiere sînt, evident, identice și ele. Fața *p* este identică cu *q*, dar ambele sînt diferite față de *P* sau *Q*. Să admitem că două persoane vor

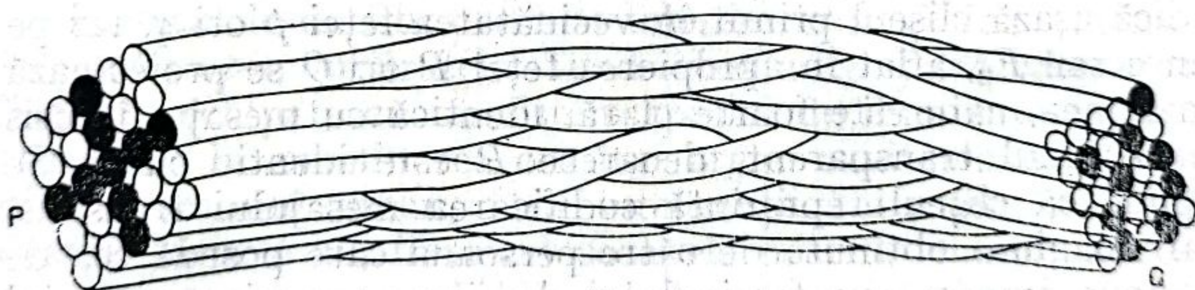


Fig. III-6

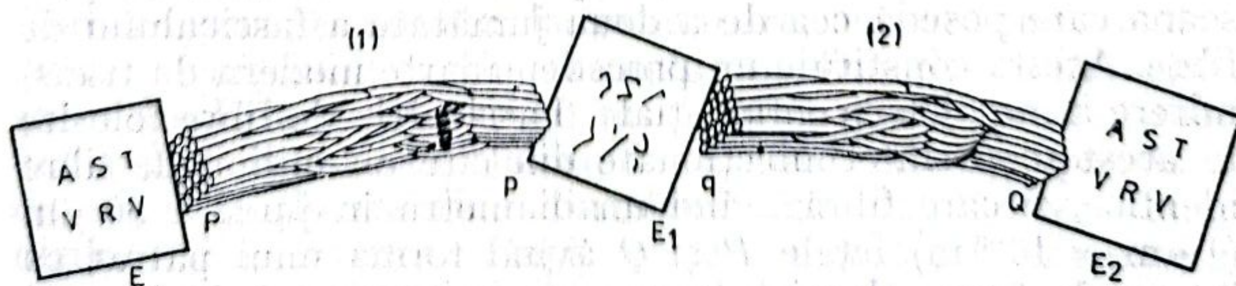


Fig. III.7

[1] Vezi, de exemplu, *Fizica*, vol. II, de David Halliday și Robert Resnick, Editura didactică și pedagogică, București, 1975, p. 390.

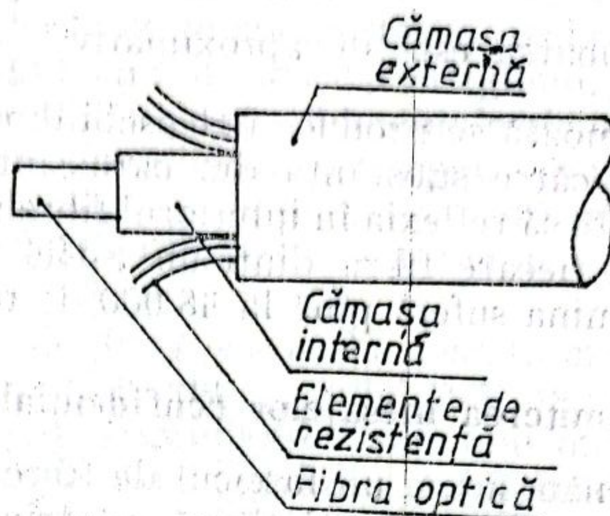


Fig. III.8

să întrețină o corespondență confidențială. Pentru aceasta fiecare din ele ia cîte o parte din fasciculul de fibre. Cînd una din persoane vrea să trimită un mesaj celeilalte persoane, procedează astfel: persoana respectivă scrie mesajul pe un ecran transparent, E, și îl așază apoi în vecinătatea feței P sau Q iluminîndu-l. Pe un film ori pe o placă fotografică, E_1, așezată în apropierea feței p sau q se obține o imagine deformată, neclară. Placa fotografică sau filmul developat îl trimite celeilalte persoane, care procedează exact invers, adică așază clișeul primit în vecinătatea feței p ori q, iar pe un ecran E_2, aflat în apropierea feței P ori Q se proiectează imaginea, care este foarte clară, identică cu mesajul înscris pe ecranul transparent, deoarece P este identic cu Q. Se spune că clișeul reprezintă codificarea mesajului transmis, iar imaginea obținută de către persoana care posedă cea de a doua jumătate a fasciculului de fibre reprezintă mesajul decodificat.

Evident că decodificarea nu poate fi făcută decît de persoana care posedă cea de a doua jumătate a fasciculului de fibre. Acesta constituie un procedeu foarte modern de transmitere a mesajelor confidențiale. Fasciculele de fibre folosite în acest scop sînt confecționate din cîte un milion de fibre identice, fiecare fibră avînd un diametru în jurul a 50 μm ($1\ \mu m = 10^{-6}$ m) fețele P și Q avînd forma unui pătrat cu latura de 5 cm. Mesajele transmise cu un astfel de fascicul de fibre optice cuprinde un număr impresionant de informații.

S-au confecționat și cabluri optice. Acestea pot fi *unifilare* sau *multifilare*. În figura III.8 sînt prezentate elemen-

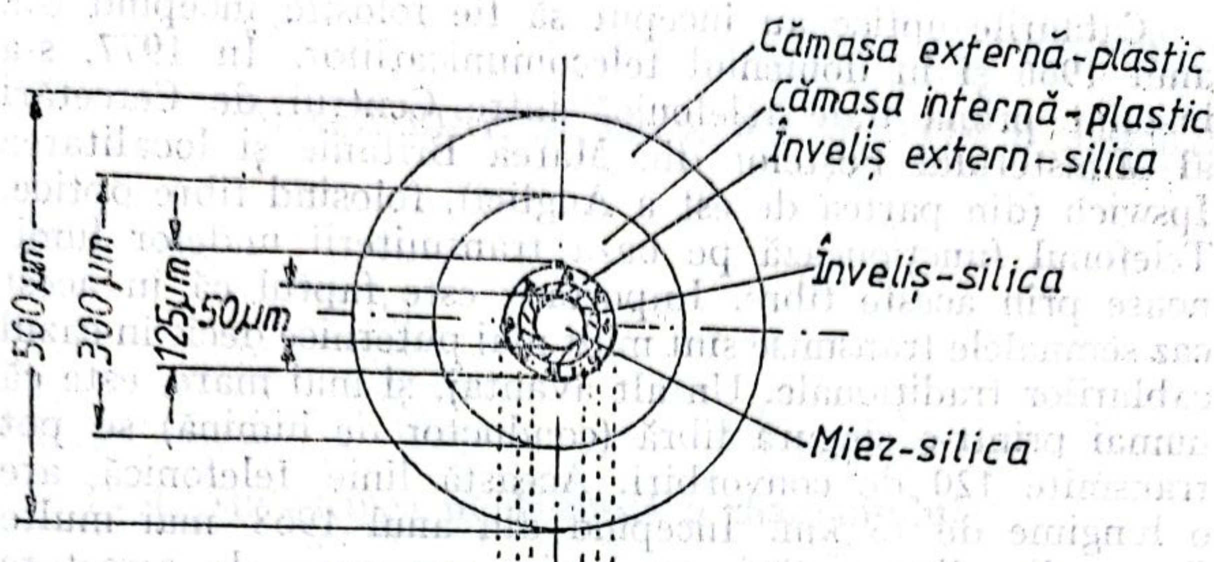


Fig. III.9

tele structurale ale unui cablu optic unifilar, iar figura III.9 reprezintă o secțiune transversală printr-un cablu optic unifilar. Miezul reprezintă fibra optică propriu-zisă confecționată din sticlă. Se dau și dimensiunile elementelor structurale în micrometri.

III.5. Alte aplicații ale fibrelor optice

Fasciculele de fibre se mai folosesc în medicina internă, în *endoscopie*, aparatele fiind denumite *fibroendoscoape*. Ele sînt echipate cu un sistem special de iluminare internă și servesc la examinarea oricărui organ cavitar sau tubular din organismul uman, fără intervenții chirurgicale. După destinația ce o au, fibroendoscoapele poartă denumiri corespunzătoare. Așa, de pildă, pentru examinarea bronhiilor se folosește *fibrobronhoscopul*, iar pentru examinarea stomacului și duodenului se folosește *fibrogastroduodenscopul*. Alte fibroendoscoape servesc la examinarea intestinelor, esofagului, laringelui ș.a. Un exemplu: medicii de la Universitatea din Erlangen au reușit nu de mult să extirpeze cu succes polipi intestinali, folosind un fibroendoscop prevăzut cu niște lănțișoare fine din sîrmă inoxidabilă, care erau dirijate din exterior. După vechile metode, operația era extrem de complicată și riscantă. De asemenea, cu ajutorul fibroendoscoapelor se poate examina întregul tub digestiv. În acest fel medicii au posibilitatea să depisteze o serie de boli în faza incipientă, cum ar fi cancerul intestinal.

Cablurile optice au început să fie folosite începînd din anul 1966 și în domeniul telecomunicațiilor. În 1977, s-a instalat prima linie telefonică între Centrul de Cercetări al Ministerului Poștelor din Marea Britanie și localitatea Ipswich (din partea de est a Angliei), folosind fibre optice. Telefonul funcționează pe baza transmiterii undelor luminoase prin aceste fibre. Important este faptul că în acest caz semnalele transmise sînt mult mai puternice decît în cazul cablurilor tradiționale. Un alt avantaj, și mai mare, este că numai printr-o singură fibră (conductor de lumină) se pot transmite 120 de convorbiri. Această linie telefonică are o lungime de 13 km. Începînd din anul 1968 mai multe firme, din diverse țări, au inițiat programe de cercetare în domeniul fibrelor optice pentru telecomunicații.

În anul 1977 (1 aprilie — 11 mai) a fost inaugurat primul sistem de comunicații telefonice din lume, video și de date, instalat de către firma *Bell* în orașul Chicago. Linia telefonică avea o lungime de 2,6 km. Au urmat apoi alte linii telefonice în alte orașe.

Prin cabluri de fibre optice se pot transmite de 100 000 de ori mai multe informații decît prin cabluri obișnuite, iar grosimea unui cablu optic este cît a treia parte din grosimea unui băț de chibrit.

În țara noastră se fac cercetări în domeniul fibrelor optice la Institutul de cercetări și proiectări tehnologii pentru sticlă și ceramică fină (I.C.P.T.S.C.F.) București, în scopul instalării de rețele telefonice cu cabluri optice. S-au și obținut fibre optice din cuarțul de la Uricani (lîngă Tîrgu Jiu) încă din anul 1982 (faza de laborator), ulterior s-a trecut la fabricarea lor la scară industrială și la instalarea de cabluri telefonice cu fibre optice. [1]

---

[1] Pentru completarea cunoștințelor vezi „Optica fibrelor" în „Revista de fizică-chimie" nr. 5 și 6 din 1975, sau „Principii și legi fundamentale în fizică" de Gh. Huțanu, Edit. Albatros, 1983, p. 330—340 sau „De la optica clasică la optica modernă" de Gh. Huțanu, Edit. Științifică și enciclopedică, București, 1984, sau „Inițiere în comunicațiile prin fibre optice" de Claudian-Roman Niculescu și Ion Mihail Iosif, Edit. Tehnică, București, 1982.

Capitolul IV

ESTE BINE ȘI NECESAR SĂ ȘTIM DESPRE...

IV.1. Strălucirea neobișnuită a diamantului

Diamantul este carbon nativ cristalizat în sistemul cubic, în cristale octoedrice incolore, rareori albastre sau brune și are cea mai mare duritate din toate mineralele. (Diamantul are indicele de refracție foarte ridicat, $n = 2,41$, iar unghiul său limită la contactul cu aerul, adică unghiul limită de reflexie totală, este destul de mic, $i = 24,6°$.) Prin prelucrare, diamantului i se dă o anumită formă, cu numeroase fațete, așa cum se vede în figura IV.1 a. Atît forma cît și numărul fațetelor nu sînt arbitrare, ci totul este calculat în așa fel încît lumina, pătrunzînd în diamantul șlefuit, nu-l traversează, ci înainte de a ieși din cristal, suferă reflexii totale pe numeroasele sale fațete, așa cum se vede în figura IV.1 b.

Lumina naturală care vine de la Soare este o lumină policromatică, alcătuită din radiațiile cunoscute: roșu, portocaliu, galben, verde, albastru-indigo și violet, ale căror lungimi de undă sînt diferite. Ansamblul acestor radiații formează *spectrul luminii albe*. Cînd lumina albă pătrunde într-un cristal de diamant, simultan cu fenomenul de refracție se produce și fenomenul de dispersie (adică fenomenul de descompunere a luminii în radiațiile ce o alcătuiesc, atunci cînd pătrunde într-un mediu refringent, de exemplu într-o prismă, într-o lentilă ș.a.), apoi razele de lumină suferă multiple reflexii totale, impresionînd ochiul după ieșirea lor din cristal. Pentru ochi aceste raze par că țîșnesc din cristal, conferindu-i acestuia strălucirea de neegalat, în culorile spectrale (ale curcubeului). Diamantul este considerat cea mai frumoasă dintre pietrele prețioase, tocmai datorită magnificului joc de lumini pe fațetele sale.

Este bine să știm că în timpul prelucrării și șlefuirii unui diamant se pierde foarte mult din cristalul brut. Așa,

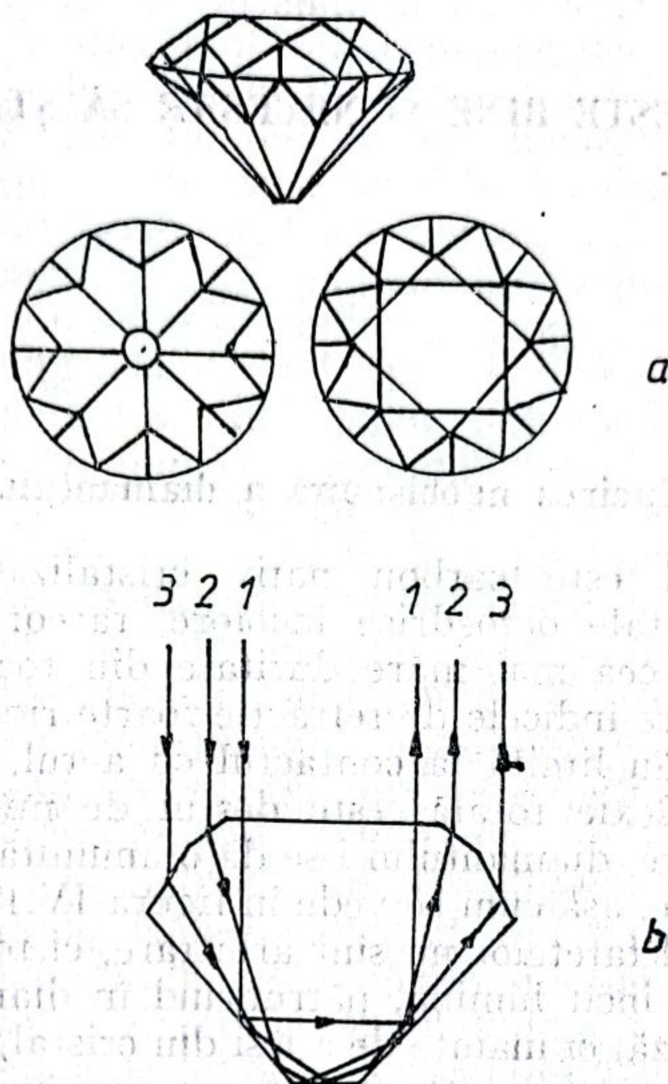


Fig. IV.1

de pildă, celebrul diamant *Koh-i-Noor* [1] de 105 carate [2] a fost obținut dintr-un cristal brut de 180 g (900 carate).

La prima prelucrare a rezultat un diamant de 37 g, iar după a doua și ultima, inclusiv șlefuirea lui, a rezultat un diamant de 21 g, ceea ce înseamnă un diamant de 105 carate. S-a pierdut mult prin prelucrare-șlefuire, dar a cîștigat incomparabil prin frumusețe.

Cele mai mari diamante din lume au denumiri ca, „Orlov", „Shah" „Koh-i-Noor", „Steaua sudului", „Regent". Ele se găsesc în muzeele naționale ale unor țări. În anul 1975 a fost obținut un diamant de 107 carate; se numește „Cartier" și se află la New York.

Se pregătesc diamante mari cu o asemenea formă încît să lase să treacă lumina de sus în jos. Dacă se privește trans-

---

[1] Koh-i-Noor, înseamnă *Muntele de lumină*.
[2] 1 carat = 0,2 grame.

versal un astfel de diamant, atunci, piatra limpede ca apa de izvor pare opacă, neagră.

Deoarece, în unele țări se fabrică diamante sintetice la scară industrială, nu este lipsit de interes să știm că diamantul artificial introdus în ulei își *pierde strălucirea*, pe cînd cel natural *nu*.

IV.2. Cum se explică culoarea albă a zăpezii?

Se cunoaște că suprafețele care prezintă neuniformități reflectă lumina incidentă în toate direcțiile, în general neuniform (fig. IV.2). Fenomenul se numește *reflexie difuză* (neregulată), iar despre astfel de suprafețe se spune că *difuzează* lumina incidentă. Totuși, fenomenul decurge astfel încît fiecare rază a fasciculului incident se reflectă cu respectarea legii reflexiei. Așa cum reiese de pe figura IV.2, razele fasciculului reflectat au cele mai diferite direcții, cu toate că fasciculul incident este telecentric (paralel). Dacă o suprafață difuzează lumina incidentă absolut uniform în toate direcțiile, atunci suprafața respectivă se numește suprafață *absolut mată*. Este, evident, un caz ideal. Dar apropiat de acest caz ideal este suprafața unei foi de hîrtie de bloc pentru desen, porțelanul neemailat, zăpada ș.a.

Dacă am privi fulgii de zăpadă printr-o lupă am observa că ei sînt alcătuiți din cristale de gheață mici și transparente, deci zăpada este albă datorită ansamblului cristalelor. Dar de ce? Explicația este cît se poate de simplă. Totalitatea

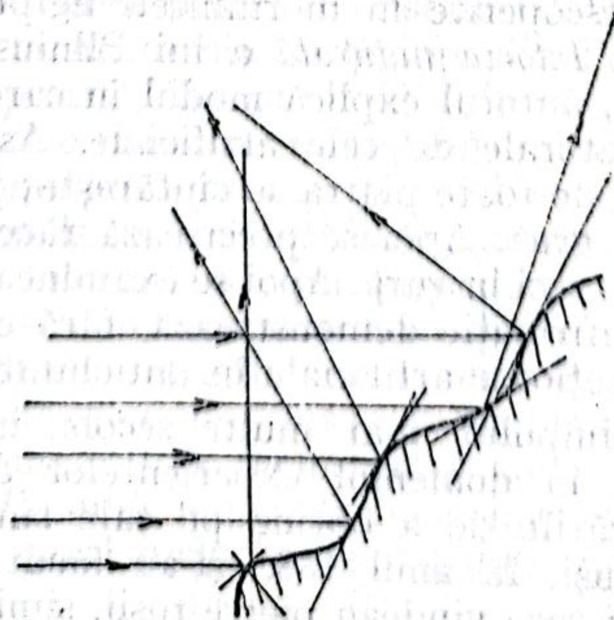


Fig. IV.2

cristalelor transparente ce formează fulgii difuzează lumina albă a zilei după toate direcţiile, deoarece ansamblul lor prezintă neuniformităţi. Şi fiindcă lumina este difuzată de zăpadă, fără a fi absorbită vreo componentă din spectrul luminii albe, zăpada, aşa cum ştim este albă. Sînt şi alte fenomene care se explică în mod similar.

IV.3. Sticla pisată este albă; de ce?

O bucată de geam este transparentă, în timp ce sticla pisată este opacă şi albă. Explicaţia este următoarea: geamul este transparent deoarece lasă lumina să treacă prin el. Dacă pisăm o bucăţică de geam atunci suprafaţa cioburilor este neuniformă şi de aceea difuzează lumina albă a zilei după toate direcţiile. La fel se explică de ce dacă pisăm o bucată de sticlă roşie ea este opacă şi albă (v. şi explicaţia de la IV.2).

Ştim cu toţii că albuşul de ou este transparent, în timp ce albuşul „bătut" este alb. Explicaţia este analoagă şi o lăsăm pe seama cititorului. (Prin baterea albuşului se formează o multitudine de bule aproape microscopice...)

IV.4. Ce este bine să mai ştim despre rubinele sintetice

Încă în antichitate se confecţionau pietre sintetice. Aceasta reiese din concluziile cercetărilor cu privire la pietrele preţioase descoperite în mormintele egiptene. Acelaşi lucru rezultă din *Istoria naturală* a lui Plinius cel Bătrîn, unde, între altele, autorul explică modul în care pot fi deosebite pietrele naturale de cele artificiale. Astfel, autorul arată că „Înainte de toate piatra se cîntăreşte; pietrele veritabile atîrnă mai greu. Apoi se precizează răceala lor; cele veritabile sînt mai reci în gură. Apoi se examinează substanţa însăşi". Această afirmaţie demonstrează, fără echivoc, existenţa pietrelor preţioase artificiale în antichitate.

În decursul timpului, mai multe secole, inchiziţia şi-a impus stăpînirea în domeniul experienţelor de laborator, interzicînd încercările de a obţine pe cale sintetică pietre preţioase. Şi totuşi, în anul 1885 şi-au făcut apariţia, în Elveţia, negustori care vindeau pietre roşii, similare cu rubinele naturale, dar care în cuprinsul lor aveau bule mici de

aer, din care cauză nu s-au bucurat de mare atenție din partea amatorilor de rubine. Aceste rubine sintetice erau obținute prin fuzionarea directă a fragmentelor de rubin natural într-o flacără oxihidrică și recolorate cu bicromat de potasiu, metodă care a fost folosită la sinteza corindonului de către Verneuil în 1904. Condițiile tehnice de astăzi permit sintetizarea aproape a tuturor pietrelor prețioase. Și la noi în țară, la Timișoara, se fabrică pietre prețioase în 2—3 variante și utilizate în industria aparatelor de măsură și control și în industria ceasornicelor.

În condiții de laborator, primele cristale de rubin au fost obținute de către Verneuil folosind pulbere de oxid de aluminiu sau alumină (Al_2O_3) și un aparat relativ simplu din punct de vedere constructiv (fig. IV.3). Aparatul constă dintr-un distribuitor ce conține pudra de alumină, distribuitor ce primește impulsuri ușoare, ritmice, determinînd astfel trecerea pulberii în cantități exacte printr-o conductă a cărei extremitate opusă celei de intrare a pulberii se află în imediata vecinătate a unui suflător oxihidric. Pulberea de alumină venind în contact cu flacăra suflătorului se topește și picăturile care se formează cad pe un piedestal de alumină fritată [1], situat în partea inferioară a aparatului, în interiorul unui creuzet, prevăzut cu o fereastră de observare care permite controlul temperaturii în orice moment. Această temperatură trebuie să se mențină constantă în timp. Pentru asigurarea unei omogenități cît mai bune și a lipsei de tensiuni interne, temperatura în interiorul creuzetului trebuie să se mențină riguros constantă.

După obținerea primelor cristale (1904), Verneuil face o comunicare la Academia de Științe din Paris, în care, printre altele, spune: *„Din punct de vedere chimic, fizic și cristalografic există o identitate între proprietățile și structura moleculară a rubinului de fuziune și a rubinului natural"*.

De mai multă vreme rubinele sintetice se obțin la scară industrială, folosindu-se un procedeu similar celui folosit de Verneuil și descris mai sus, evident, cu unele îmbunătățiri. Una dintre acestea fiind aceea că piedestalul receptor din alumină fritată are o continuă stare de mișcare de rotație, ceea ce face ca numărul de incluziuni gazoase în masa rubinelor sintetice să fie mult redus. Cristale de rubin sintetic din care să lipsească total incluziunile gazoase microscopice nu s-au

---

[1] *Frită* înseamnă sticlă-ceramică.

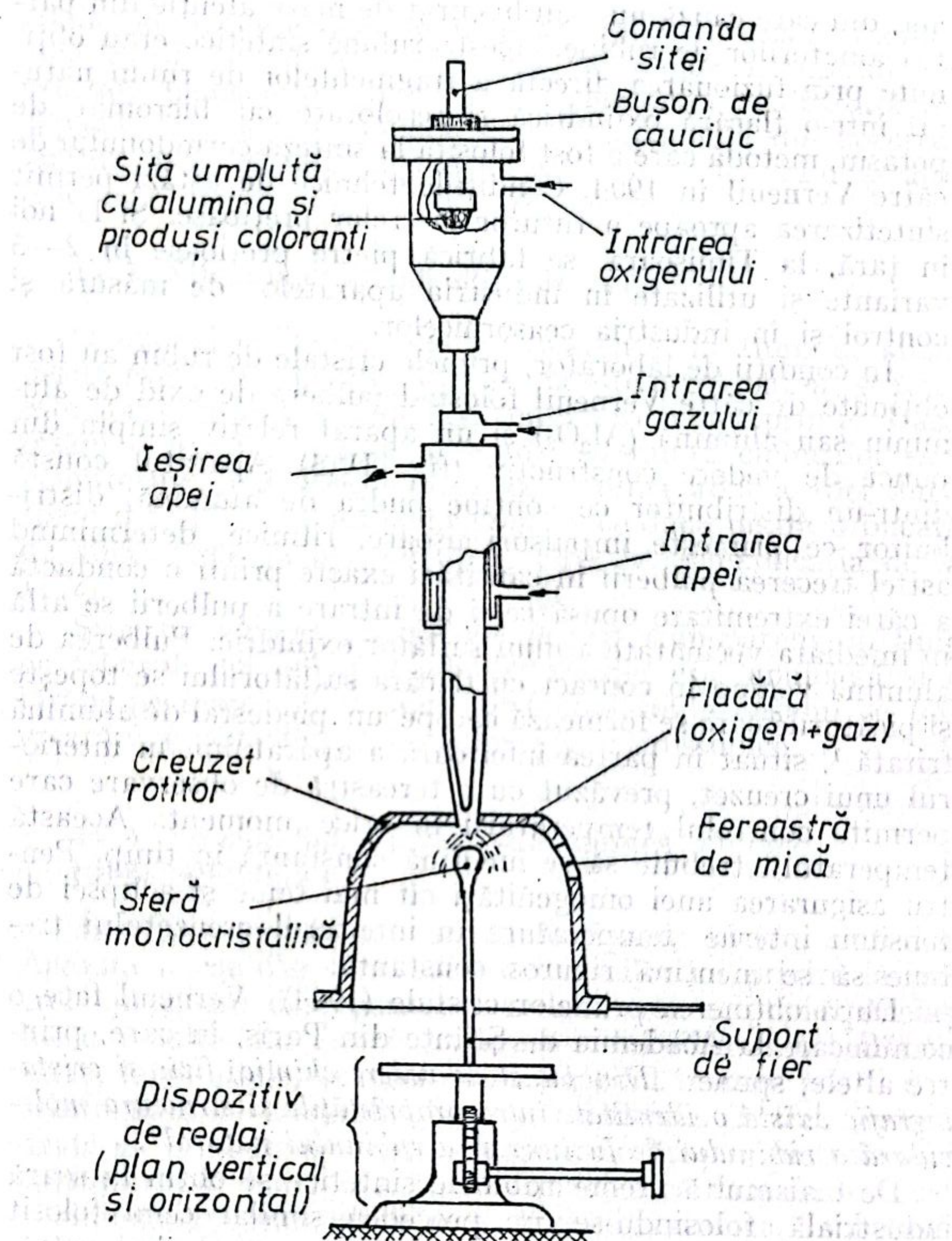


Fig. IV.3

putut obține pînă în prezent. De altfel, numai în aceasta constă deosebirea între rubinele sintetice și cele naturale (rubinele naturale sînt lipsite de incluziuni gazoase).

Astăzi suflătoarele oxihidrice, denumite *„Producătoare Verneuil"* sînt cu sutele în uzinele elvețiene, germane, sovie-

tice ş.a. O singură uzină elveţiană fabrică anual $150 \cdot 10^6$ carate de pietre sintetice, acestea reprezentînd 30 t de pietre brute. Un singur om lucrează simultan la mai multe instalaţii de acest gen. Temperatura flăcării oxihidrice trebuie să fie mai mare de 2 000°C pentru a se topi pulberea de alumină. Această temperatură se obţine de la o flacără de grizu (amestec de gaz metan şi aer). Pulberea de alumină trebuie să fie de înaltă puritate, pentru a se obţine cristale de rubin superioare din punct de vedere calitativ.

Prin adiţie de diverşi oxizi la substanţa de bază (alumina) se obţine o gamă întreagă de pietre preţioase, care sînt aproape identice cu cele naturale, din foarte multe puncte de vedere. De exemplu, cu o adiţie de 2—7% oxid de crom se obţin rubine cu o tentă roşie mai mult sau mai puţin accentuată, iar prin adaus de oxid de titan şi fier (la alumină) se obţine *safirul*. Adăugînd la substanţa de bază oxid de cobalt şi oxid de vanadiu se obţin pietre preţioase verzi, care au fost, cîndva, comercializate sub denumirea de „smaralde ştiinţifice". Această denumire este improprie, deoarece smaraldul natural nu are la bază corindonul. În Germania s-au făcut încercări de sinteză, a smaraldelor plecînd de la fragmente de beril, beriliul fiind un constituent de bază al smaraldului natural, însă fabricarea acestora nu este economică, preţul lor fiind încă foarte ridicat.

Industria absoarbe astăzi 90% din producţia mondială de pietre sintetice: industria optică, a instrumentelor de măsură, a ceasornicelor, textilă — pentru războaiele de ţesut, rezistente la uzura produsă de noile fibre.

Dar pentru obţinerea pietrelor necesare în industria ceasornicelor (rubinele) sau a instrumentelor din măsuri electrice, acestea trebuiau decupate din cristalul final de rubin sub forma de pară. Decuparea se făcea cu ajutorul diamantului (la început cu un fierăstrău special). Prin prelucrare şi aducerea la dimensiunea necesară se pierdea enorm de mult, aproximativ 97%, sub formă de resturi, pulbere, sfărîmături inutilizabile. Pentru diminuarea acestor pierderi a fost perfecţionată aparatura de obţinere a pietrei sintetice, reuşindu-se să se obţină tije cu un diametru de 2—3 mm, care, evident, sînt foarte uşor de debitat, evitîndu-se o seamă de alte operaţii (descrise mai sus), astfel încît cristalul obţinut este în întregime folosit. De remarcat că un singur kilogram de material cristalin dă peste 40 000 de rubine pentru ceasornice. Rubinul este poate cea mai frumoasă piatră preţioasă.

Rubinul și safirul, de asemenea prețios, sînt varietăți ale aceleiași pietre, *corindonul* (oxid de aluminiu sau alumină). Există și o a treia varietate a acestui mineral, pudră de corindon opac, care servește la polizarea pietrelor prețioase și a metalelor.

Rubinul și safirul au compoziția și toate proprietățile fizice identice. Aceste pietre se disting numai prin culoarea lor, colorație care se datorește adiției unui material colorant. Corindonul, acest mineral care stă la baza fabricării pietrelor prețioase, este unul din cele mai dure, în urma diamantului. Totuși există o substanță sintetică mai dură ca diamantul și anume o varietate de nitrură de bor numită *borazon*. Un material mai dur ca borazonul nu se cunoaște.

Rubinul este folosit în construcția unor laseri. În 1960 a fost realizat primul laser cu rubin, de inginerul și fizicianul american Theodore Maiman. Laserul este considerat o minune a tehnicii moderne, susceptibil să revoluționeze împreună cu fibrele și cablurile de fibre optice, lumea telecomunicațiilor.

CARE SE PRETINDE EXHAUSTIV ...

V.1. Imaginea unui ac cu gămălie și ... dispariția sa

Într-un pahar cu apă se introduce un dop de plută în care a fost înfipt, în prealabil, un ac cu gămălie (un bold). Dopul este așezat pe suprafața apei, așa fel încît acul să intre în apă (fig. V.1). Într-o anumită poziție a paharului față de ochii privitorului, acesta va vedea acul în partea de sus, în prelungirea razelor de lumină reflectate total. Este o imagine virtuală a acului. Pentru altă poziție a paharului față de ochii experimentatorului, de exemplu dacă se privește de sus în jos, acul cu gămălie nu se mai vede. A devenit... *invizibil*. Explicația se dă aplicînd legile reflexiei totale și ale refracției luminii. De pe figură se înțelege ușor fenomenul.

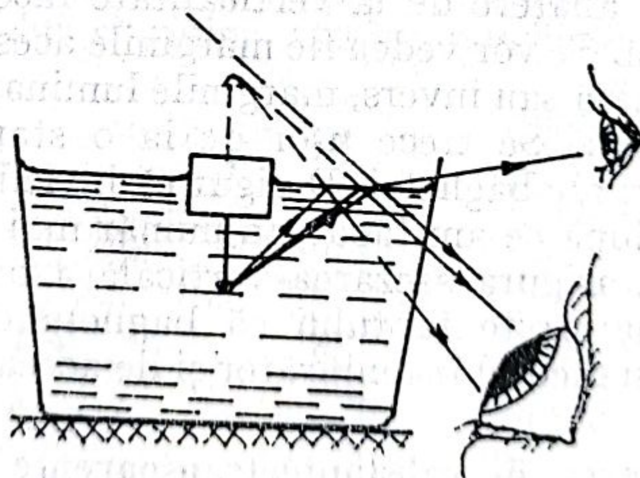
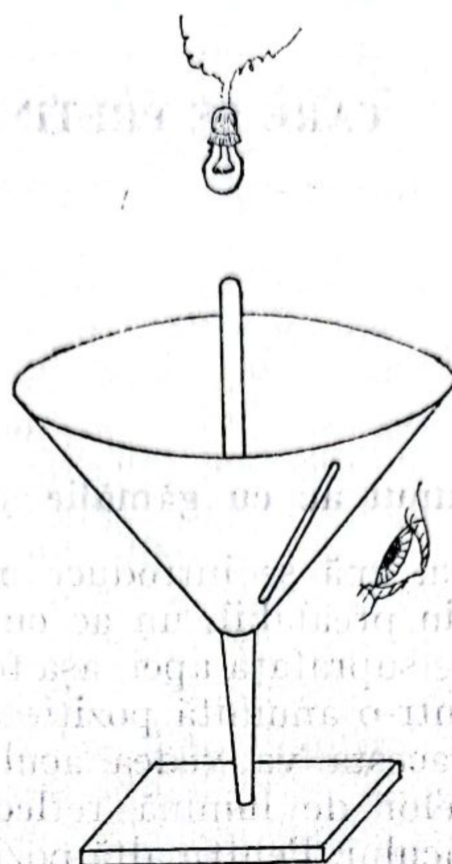


Fig. V.1

V.2. Bagheta invizibilă

Sub un bec electric aprins (40 W) așezăm la mică distanță o pîlnie mare cu diametrul de 50 cm (fig. V.2), în care, în prealabil, a fost practicată o deschidere dreptunghiulară cu dimensiunile 1 × 10 cm. În pîlnie introducem o baghetă de sticlă pe care trebuie să o așezăm perfect vertical. Apoi pri-


Fig. V.2

vim prin deschidere. Vom observa că bagheta a devenit invizibilă. O mică abatere de la verticalitate face ca experiența să nu reușească. Se vor vedea fie marginile acesteia întunecate și între ele lumină sau invers, marginile luminate și întunecare de-a lungul axei. Se trece ușor de la o stare la alta prin ușoare înclinări ale baghetei. Desigur că invizibilitatea baghetei se obține după ce am făcut un număr mai mare de încercări, pentru a asigura așezarea verticală a baghetei. Invizibilitatea se datorește faptului că bagheta devine complet luminoasă ca și mediul înconjurător și de aceea nu se distinge.

V.3. Obținerea de substanțe transparente

Profesorul de anatomie Spalteholz a reușit să obțină o serie de substanțe, de preparate, transparente *(nu invizibile!)*. Tehnica este următoarea: o anumită substanță este prelucrată astfel încît să devină albă; este apoi spălată și impregnată cu eter metilic de acid salicilic, care are un mare indice de refracție. Substanța devine parțial transparentă cînd este introdusă într-un vas conținînd lichidul incolor menționat mai sus (eter metilic de acid salicilic).

(Preparate complet transparente nu ar prezenta interes deoarece fiind invizibile, nu ar folosi nimănui.)

Pentru ca un preparat să devină invizibil trebuie ca indicele de refracție al acestuia să fie egal cu al mediului în care se află sau să difere de acesta numai cu 0,05. Așadar, pentru ca o substanță să fie invizibilă în aer trebuie ca indicele de refracție absolut să fie egal cu cel al aerului, sau, așa cum am spus să difere de acesta cu cel mult 0,05. Pînă în prezent nu se cunoaște nici o tehnică, nici o tehnologie de obținere a unei substanțe cu un astfel de indice de refracție absolut. Și chiar dacă s-ar obține, cui ar folosi? — din moment ce nu se vede substanța.

V.4. Cîte ceva despre ochi

Ochiul este considerat, în fizică, un instrument optic (fig. V.3). Schematizată, structura ochiului ca instrument optic se compune dintr-o lentilă convergentă denumită *cristalin*, cu distanță focală, reglabilă, o diafragmă denumită *iris*, care poate varia lărgimea fasciculului de lumină ce ajunge la cristalin și un ecran înregistrator denumit *retină*, formată din celule nervoase juxtapuse care transformă excitația luminoasă în excitație nervoasă. Studiul fiziologic al funcționării ochiului a arătat că distanța dintre centrul optic al ochiului și retină rămîne neschimbată. Cristalinul

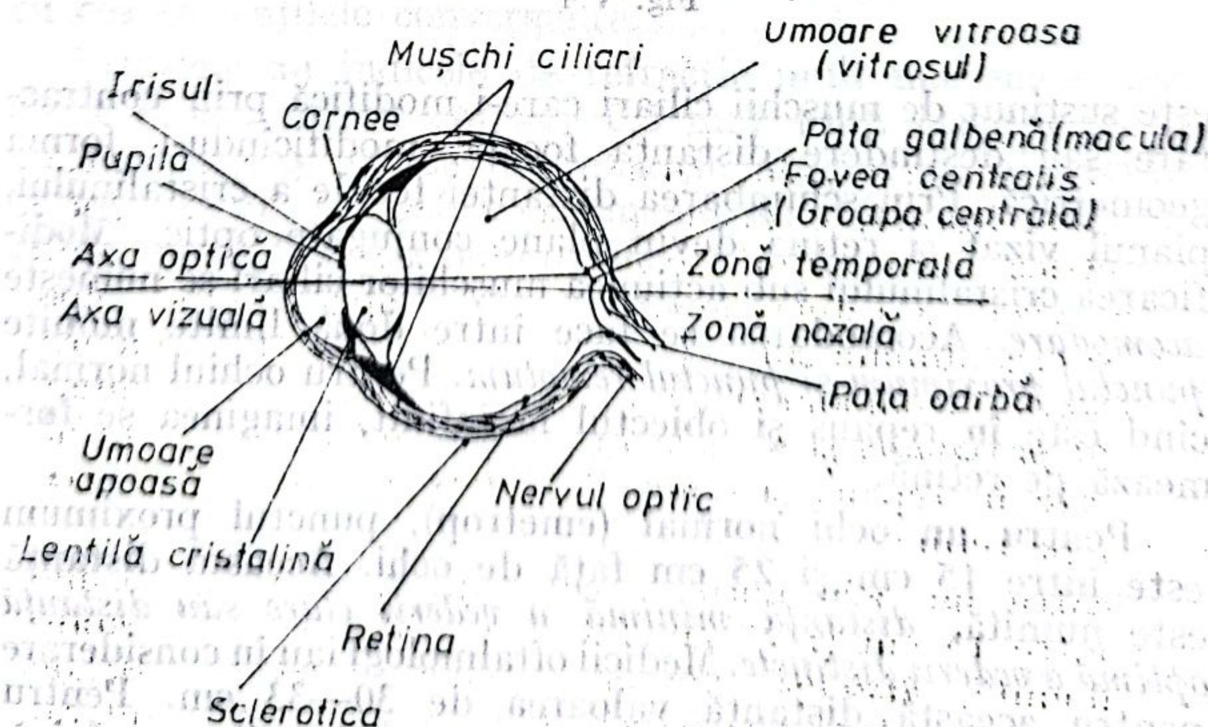


Fig. V.3

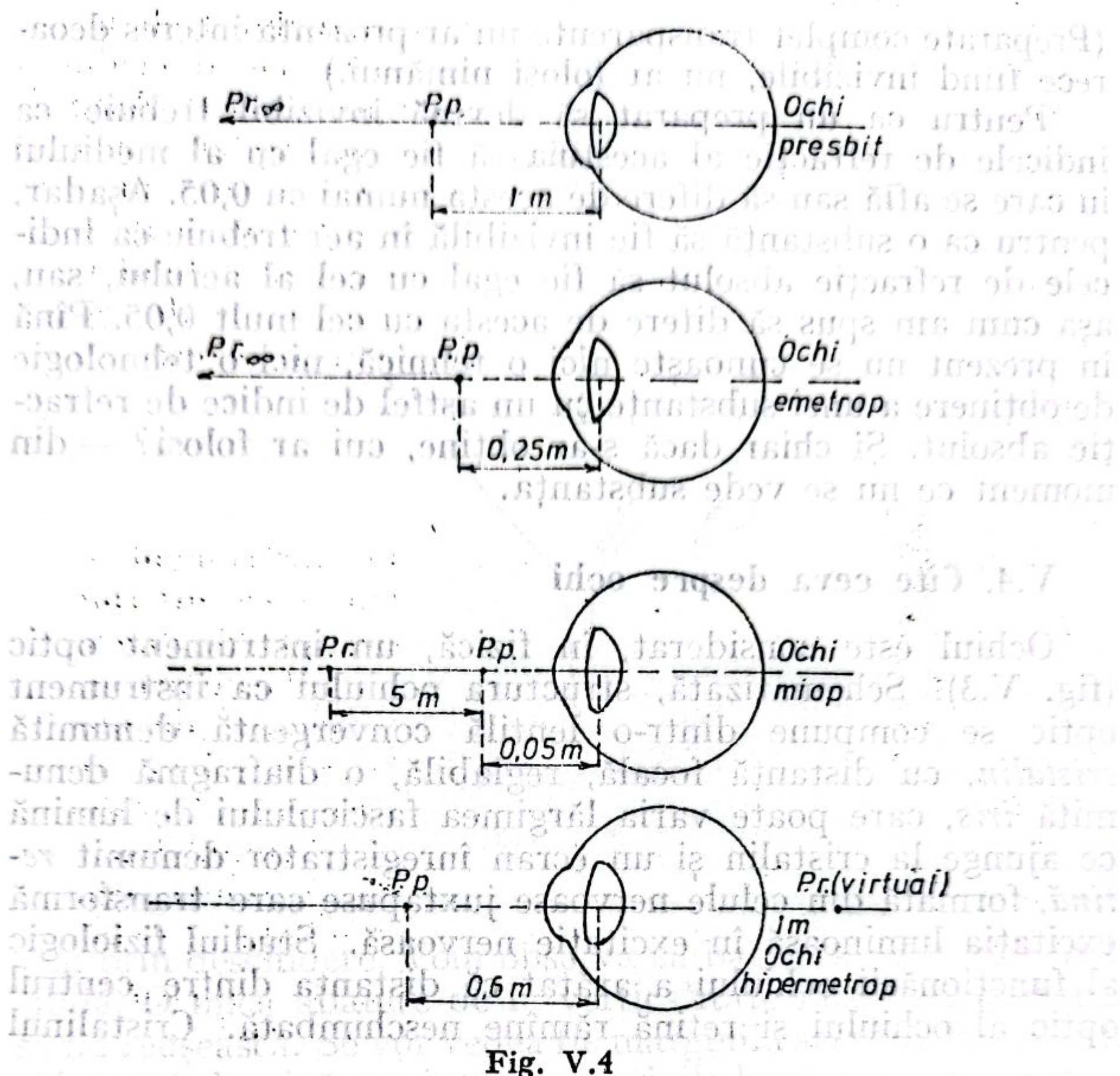


Fig. V.4

este susţinut de muşchii ciliari care-i modifică prin contractare sau destindere distanţa focală, modificîndu-i forma geometrică. Prin schimbarea distanţei focale a cristalinului, planul vizat şi retina devin plane conjugate optic. Modificarea cristalinului sub acţiunea muşchilor ciliari se numeşte *acomodare*. Acomodarea se face între două limite numite *punctul proximum* şi *punctul remotum*. Pentru ochiul normal, cînd este în repaus şi obiectul la infinit, imaginea se formează pe retină.

Pentru un ochi normal (emetrop), punctul proximum este între 15 cm şi 25 cm faţă de ochi. Această distanţă este numită, *distanţă minimă a vederii clare sau distanţă optimă a vederii distincte.* Medicii oftalmologi iau în considerare pentru această distanţă valoarea de 30—33 cm. Pentru un ochi hipermetrop această distanţă este mai mare (pînă la punctul proximum), iar pentru un miop este mai mică

decît 15 cm. Punctul remotum este la infinit pentru un ochi emetrop, la distanța finită pentru miop și virtual pentru hipermetrop; un ochi hipermetrop poate vedea „obiecte virtuale", ceea ce înseamnă că ochiul hipermetrop poate să concentreze pe retină și fascicule convergente nu numai fascicule paralele.

În figura V.4 este reprezentat schematic ochiul și punctele proximum, respectiv remotum.

Distanța dintre aceste două puncte, *Pp* și *Pr*, se numește *amplitudine de acomodare* și se exprimă în *dioptrii*.

Substanțele din ochi sînt medii optice refringente. Fiecare din ele are un anumit indice de refracție absolut (n), care este cu mult mai mare decît indicele de refracție absolut al aerului.

Corneea are indicele de refracție absolut (n) egal cu 1,37, umoarea apoasă are $n = 1,33$ (este, practic, apă), Cristalinul are o structură foarte interesantă, fiind alcătuit din mai multe straturi, asemănător unei cepe, cu indicele de refracție absolut variabil, de la centru, unde $n = 1,44$, spre margini, unde $n = 1,38$. Umoarea sticloasă (corpul vitros) are $n = 1,34$. De aceea, lumina pătrunzînd în ochi suferă fenomenul de refracție și grație cristalinului, care se comportă ca o lentilă convergentă, pe retină se formează imaginea inversă a obiectului privit; datorită nervului optic imaginea o vedem dreaptă. Formarea imaginii se aseamănă cu cea în lentilele convergente.

Lentilele au indicele de refracție mult mai mare decît acela al aerului, cu aproape 0,5 mai mult. Dacă o lentilă ar avea același indice de refracție absolut ca al aerului, lumina nu ar mai suferi fenomenul de refracție și deci nu ar mai putea fi vorba de o *lentilă*.

Capitolul VI

ALTE PROBLEME ÎN LEGĂTURĂ CU OCHII ŞI VEDEREA

VI.1. Senzaţiile luminoase „prinse" pe retină sînt instantanee sau durează un anumit interval de timp?

Iată o experienţă simplă ce poate fi efectuată de către oricare dintre cititorii acestei cărţi. Pe un disc negru vopsim cu roşu un sector, aşa cum redă figura VI.1. Discul îl antrenăm într-o mişcare de rotaţie rapidă în jurul axei ce trece prin centrul său, *O*. Cînd rotaţia este suficient de rapidă, observatorul vede toată suprafaţa colorată în roşu. Aceasta se datoreşte persistenţei senzaţiei luminoase pe retina ochiului.

O experienţă asemănătoare este aceea cu discul lui Newton. Acesta este un disc prevăzut cu un ax împărţit în 7 sectoare, fiecare sector fiind colorat cu cîte o culoare din spectrul vizibil. Vor fi deci 7 sectoare corespunzătoare celor 7 culori din spectrul vizibil. Punînd discul într-o mişcare de rotaţie în jurul axului său, printr-un anume procedeu, observatorul va vedea discul alb. Are loc un fenomen de recompunere a luminii albe bazat pe persistenţa senzaţiei luminoase pe retină. Aşadar, radiaţiile luminoase produc senzaţii care se prelungesc după dispariţia luminii, durînd 1/25—1/50 s.

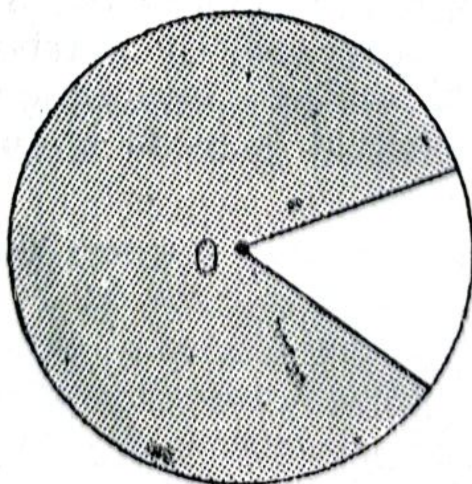


Fig. VI.1

VI.2. Posibilitatea vederii stereoscopice

Să presupunem că un observator privește un punct P aflat la o distanță, d (fig. VI.2). Imaginea lui P se formează în P_1, respectiv P_2 de pe retina fiecărui ochi, pe axa optică în centrul foveii. Axele optice ale celor doi ochi converg în P. Această convergență este cu atît mai mare cu cît d este mai mic.

Convergența oculară este funcție de distanța d și de experiența observatorului, priceperea din copilărie, învățarea de a lega noțiunea de distanță de aceea de convergență. Compararea diverselor convergențe, realizată reflex, produce senzația de relief.

Folosind două lentile-obiectiv la o distanță una de alta egală cu distanța interpupilară (dintre centrele pupilelor ochilor, dintre centrele lor optice) se pot lua două fotografii, fiecare corespunzînd vederii cu un ochi. În acest fel se obține un *cuplu stereoscopic* din care fiecare imagine trebuie observată corespunzător, ochiul stîng să vadă imaginea din stînga,

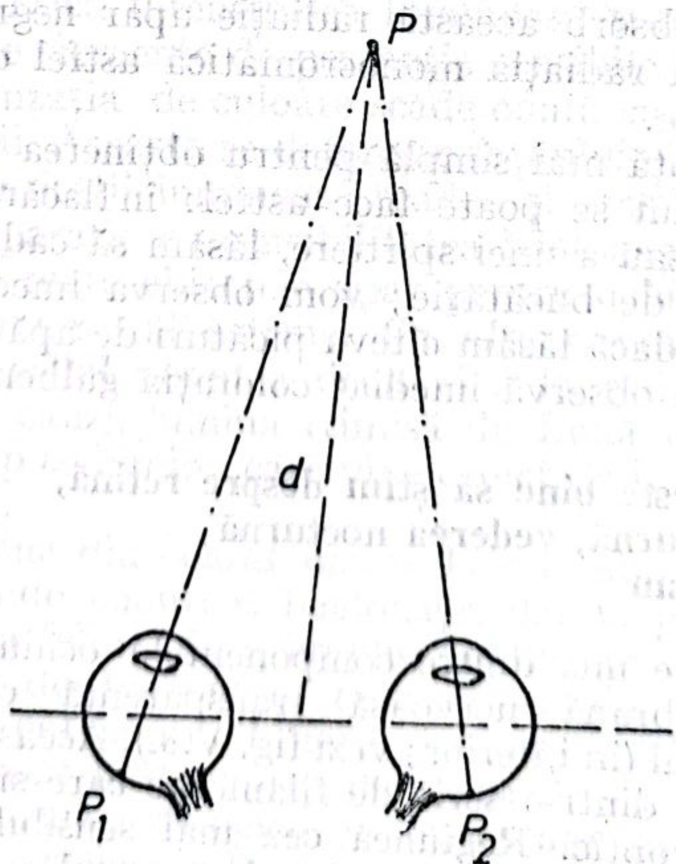


Fig. VI.2

iar ochiul drept imaginea din dreapta, fiecare operaţie fiind independentă una de alta.

Problema este rezolvată de aparatul numit *stereoscop*, care va fi prezentat la VI.10.1.

VI.3. Cum trebuie să vedem culorile?

Denumirile pentru culori sînt convenţionale, aşa cum se va vedea la IX.4. Culoarea unui corp nu depinde numai de natura lui, ci şi de natura sursei de lumină care iluminează corpul. De exemplu, lumina electrică conţine mai puţin radiaţiile violet şi albastru decît lumina zilei şi ca atare culorile corpurilor vor fi sensibil modificate. De aceea nu trebuie să avem încredere în alegerea culorilor la lumină artificială.

Iluminînd o pictură sau alt corp cu lumină colorată monocromatică, toate impresiile de nuanţă dispar, deoarece unele zone care absorb radiaţia nu vor reflecta mai nimic, iar alte zone vor difuza radiaţia incidentă mai mult sau mai puţin intens.

O sursă monocromatică poate fi realizată foarte uşor făcînd să ardă alcool în care s-a dizolvat clorură de sodiu. Zonele care absorb această radiaţie apar negre, iar acelea care difuzează radiaţia monocromatică astfel obţinută, vor apărea galbene.

O experienţă mai simplă pentru obţinerea radiaţiei galbene a sodiului se poate face astfel: în flacăra aragazului, de exemplu, sau a unei spirtiere, lăsăm să cadă puţină pulbere de sare de bucătărie; vom observa imediat coloraţia galbenă. Sau dacă lăsăm cîteva picături de apă de la robinet pe flacără; se observă imediat coloraţia galbenă a sodiului.

VI.4. Ce este bine să ştim despre retină, vederea diurnă, vederea nocturnă şi daltonism

Retina este una dintre componentele ochiului şi constă dintr-o membrană nervoasă transparentă care acoperă fundul ochiului (în interior; vezi fig. V.3.). Această membrană este alcătuită dintr-o serie de filamente care sînt terminaţii ale nervului optic. Regiunea cea mai sensibilă la lumină este *pata galbenă* sau *maculă*, iar în centrul ei se află *fovea centralis*.

Elementele fotosensibile ale retinei au diverse denumiri. Unele elemente se numesc *conuri* și sînt mai numeroase, îndeosebi în partea cea mai sensibilă a retinei. Conurile sînt sensibile la lumină intensă și sînt diferențiate pentru culori, adică dau senzații diferite pentru diferite culori. Alte elemente se numesc *bastonașe* și sînt numeroase spre periferia retinei. Aceste elemente sînt mai sensibile decît conurile și deci sînt excitate de lumina slabă, mai ales de către radiațiile albastre și violete. Bastonașele sînt extrem de puțin sensibile la culoare în comparație cu conurile. Considerînd două suprafețe, una colorată în roșu, iar cea de a doua în albastru și iluminîndu-le cu lumină intensă, apoi cu lumină foarte slabă, în primul caz suprafața roșie va mai apărea strălucitoare decît cea albastră, iar în al doilea caz suprafața albastră va apărea mai strălucitoare. Acesta este *efectul Purkinje*.

Datorită diferenței de sensibilitate a conurilor și bastonașelor există două regimuri de vederi: *vederea diurnă sau fotopică*, atribuită conurilor și *vedere crepusculară* sau *scotopică*, datorită bastonașelor.

Cînd în ochi pătrunde lumină intensă, culorile sînt percepute distinct, iar senzația de lumină este dată îndeosebi de conuri. Dacă intensitatea luminoasă scade, bastonașele sînt singurele elemente de percepție sensibile care mai acționează, iar senzația de culoare scade odată cu scăderea intensității luminii. Aceasta se datorește faptului că odată cu micșorarea intensității luminoase scade și sensibilitatea conurilor în comparație cu sensibilitatea bastonașelor. De aceea, la crepuscul toate obiectele apar pentru ochi într-o singură culoare și anume albăstruie. Cu alte cuvinte, ochiul este mult mai sensibil noaptea decît ziua la radiațiile albastre. Din această cauză lumina trimisă de Lună ne apare albăstruie, în timp ce lumina care vine direct de la Soare ne apare galben-aurie.

Ca și retina din ochiul uman, la cele mai multe animale retina cuprinde conuri și bastonașe, dar în proporție foarte variabilă. La feline, de exemplu, retina cuprinde un număr considerabil de bastonașe, ceea ce explică vederea bună a lor în timpul nopții. Liliecii și anumite păsări de pradă nu posedă decît bastonașe și de aceea duc o viață nocturnă.

Există cazuri patologice de ochi uman manifestate prin incapacitatea congenitală de a percepe diferențiat culorile. În cele mai multe cazuri ochiul nu poate recunoaște culoarea

roşie sau verde, sau ambele culori. Această anomalie a fost studiată şi descrisă prima dată de J. Dalton, el însuşi atins de această anomalie (numită ulterior *daltonism*). În cazul că ochiul nu distinge decît una din cele trei culori fundamentale — roşu, verde, albastru —, defectul se numeşte *dicromatopsie* spre deosebire de *acromatopsie*, adică incapacitatea totală a ochiului de a distinge culorile.

De aceea persoanelor avînd daltonism li se interzice să exercite anumite profesiuni.

Daltonismul se explică prin reacţia anormală a conurilor şi bastonaşelor la diferite lungimi de undă a radiaţiilor (la diferite culori).

Daltonismul nu este vindecabil. Dar dacă este provocat de un traumatism al ochiului atunci se tratează şi se vindecă. Cel mai adesea însă daltonismul este congenital şi ereditar. În acest caz este nevindecabil. Numeroasele cercetări întreprinse în acest sens au demonstrat că aproximativ 5% din numărul indivizilor au daltonism. Daltonismul se pune în evidenţă cu uşurinţă, folosind eşantioane divers colorate, pe care subiectul trebuie să le claseze.

VI.5. Despre pragul senzaţiei de culoare

Corpurile iluminate insuficient în timpul nopţii apar, pentru ochi, cenuşii, indiferent care este, în realitate, culoarea lor. Aceasta se datoreşte faptului că la lumină slabă ochiul nu mai distinge culorile şi de aceea corpurile apar într-o singură culoare cenuşie. Această constatare stă la baza unei zicale cunoscute: „Noaptea toate pisicile sînt cenuşii".

Credem că cei mai mulţi dintre cititori au observat cele de mai sus precum şi faptul că în amurg culorile tuturor obiectelor, plantelor, florilor se estompează, din care cauză apar cenuşiu închis sau cenuşiu deschis.

Cînd iluminăm treptat un corp colorat, începînd cu lumină foarte slabă, observăm că atunci cînd lumina atinge o anumită intensitate începe să apară, pentru ochi, culoarea pe care o are corpul. Iluminarea obiectelor la care începe ochiul să distingă culoarea lor este numită *pragul de jos al senzaţiei de culoare.*

Dacă iluminăm acum corpurile colorate cu lumină foarte intensă, iluminarea lor devine şi ea tot mai puternică, iar dacă iluminarea continuă să crească, la un moment dat

toate corpurile par, pentru ochi, albe. Iluminarea la care are loc acest fenomen reprezintă *pragul superior al senzației de culoare.*

VI.6. Cîteva defecte de vedere ale ochiului uman și corectarea lor

Ca și lentilele, ochiul prezintă unele defecte. La lentile defectele poartă denumirea comună de *aberații*. Defectele de vedere ale ochiului uman se numesc *ametropii*, de la expresiile grecești, *a* care înseamnă absență, *metron* măsură, *ops*, ochi. Ochiul normal este numit *emetrop*, iar în caz contrar *ametrop*.

Defectele de vedere sînt: miopia, hipermetropia, presbiția, astigmatismul, strabismul, numindu-le pe cele mai răspîndite.

Miopia este considerată ca un defect de convergență, cînd cristalinul este prea convergent, pînă la 6 dioptrii și de aceea imaginea se formează în fața retinei. Peste 6 dioptrii, miopia este considerată o boală. Altfel spus, ochiul miop este prea „lung", prea alungit după direcție axială. De reținut că omul se naște sau nu miop, dar miopia poate apărea și ca urmare a unei oboseli anormale a ochiului, datorită faptului că este silit să privească timp îndelungat obiecte prea apropiate.

Pentru evitarea apariției miopiei la școlari — *miopia școlară* — se recomandă material școlar bine adaptat, o iluminare suficientă și o poziție normală a corpului astfel ca distanța ochi-obiect să fie de 25—30 cm.

Miopia se corectează cu lentile *menisc divergent*. Acestea au convergență negativă (denumită *divergență* și se exprimă în *dioptrii* negative) și deci se scade din convergența ochiului (fig. VI.3). Miopii văd foarte bine obiectele apropiate fără

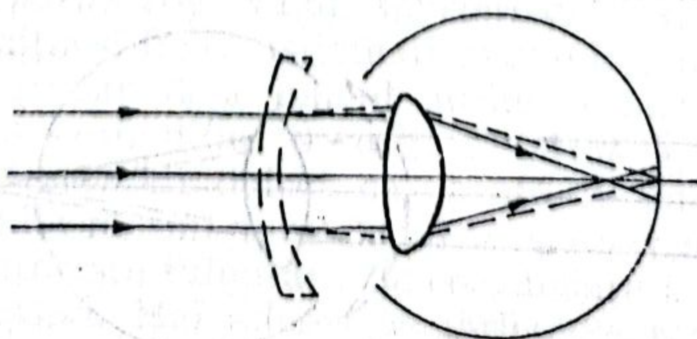


Fig. VI.3

acomodare, chiar dacă acestea se află la 5 cm, dar nu văd clar obiectele aflate la distanță, depărtate. Ochiul miop vede toate obiectele cu contur difuz în timp ce ochiul normal vede obiectele cu contur clar, cu toate detaliile. În funcție de gradul de miopie, pentru un ochi miop, un copac, de exemplu, apare ca o masă verde informă cu contur difuz, neclar, fără detalii (frunze, crengi). Ochiul miop vede fețele oamenilor mai tinere și mai frumoase decît în realitate, fără să distingă ridurile ori alte mici defecte care nu scapă ochiului normal, iar culoarea feței apare mai deschisă. Se poate întîmpla, uneori, ca unii cunoscuți miopi să treacă pe lîngă noi fără să ne observe; ei neapreciind corect vîrsta ne văd mai tineri și deci nu ne recunosc în scurtul interval de timp al trecerii. Ei nu văd clar fețele oamenilor ci difuz, recunoscînd persoanele mai mult după voce. Depinde, evident și *de gradul miopiei*. S-a constatat că persoanele avînd acest defect de vedere au auzul mai fin.

Noaptea miopii văd obiectele luminate ca avînd dimensiuni uriașe. Privind un automobil ei văd farurile, ca două pete luminoase, difuze și o masă întunecată neclară. Privind cerul înstelat ei nu văd decît un număr mic (de ordinul sutelor) de stele și anume cele mai strălucitoare. Luna are dimensiuni uriașe și este văzută foarte aproape.

Hipermetropia este un defect de convergență a ochiului și se datorește faptului că ochiul este mai puțin convergent decît ochiul normal, sau, cum se mai spune, că ochiul este prea scurt, în direcție axială; de aceea imaginea se formează în spatele retinei. Acest defect se corectează cu lentile *menisc convergent* (cu convergență pozitivă), care suplinesc lipsa de convergență a cristalinului „aducînd" imaginea pe retină (fig. VI.4). Acest defect de convergență se face simțit la vîrste tinere.

Ochiul hipermetrop nu poate vedea distinct obiectele aflate la distanțe sub 0,6 m, dar nici obiectele depărtate,

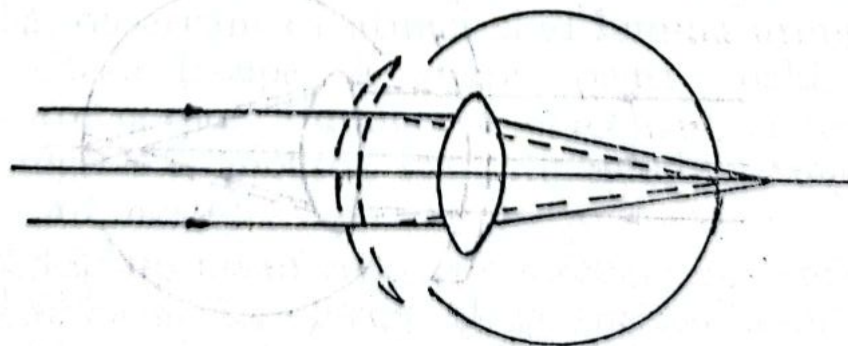


Fig. VI.4

fără efort de acomodare. De exemplu, un hipermetrop care privește o stea va vedea o pată neclară ce devine netă numai după un efort de acomodare.

Presbiția este un defect de vedere care, de fapt, reprezintă o boală caracteristică bătrîneții și se datorește pierderii elasticității și deci a capacității cristalinului de a-și modifica razele de curbură în raport cu distanțele, cînd mușchiul ciliar se contractă și de aceea ochiul nu mai poate vedea *clar* decît obiectele situate la *mare* depărtare. Deci, la ochiul presbit distanța focală a cristalinului nu mai este reglabilă. Aceasta determină îndepărtarea punctului proximum. Defectul se corectează cu ajutorul lentilelor *menisc convergente.*

O precizare importantă. Nu trebuie confundată presbiția cu hipermetropia, cu toate că aceste două anomalii au un punct comun: imposibilitatea de a vedea net obiecte apropiate. Hipermetropia este un defect de convergență, cristalinul este prea puțin convergent, în timp ce presbiția este o boală care se datorește diminuării flexibilității cristalinului și apare la vîrstnici. Puterea de acomodare la presbiți se diminuează putînd dispărea complet.

Ambele defecte se corectează cu lentile *menisc convergent.* Dar în timp ce hipermetropul are nevoie de lentile pentru aproape (pentru citit) și pentru distanță, presbitul are nevoie de lentile numai pentru citit.

Lentilele de ochelari pot fi *monofocale* (fig. VI.5, a), *bifocale* (fig. VI.5, b), *trifocale* (fig. VI.5, c) sau *lentile progresive* (multifocale (fig. VI.5, d). Mai sînt și alte tipuri de lentile, așa cum vom vedea mai departe.

Un alt defect de vedere este *astigmatismul* și constă în aceea că imaginile apar deformate. De exemplu, un ochi astigmatic care privește cadranul unui ceasornic va vedea clar numai orele situate după un diametru particular. Dacă privește o rețea din linii orizontale și verticale va vedea clar numai liniile orizontale. Acest defect se corectează cu lentile *cilindrice* (fig. VI.6), *sferocilindrice sau torice* (fig. VI.7) cu condiția să fie un astigmatism regulat, adică refracția se modifică gradat de-a lungul aceluiași meridian. Altfel spus, refracția se modifică datorită deformării corneii.

Strabismul este un defect ce constă în aceea că axele optice ale ochilor nu sînt paralele între ele, ci se intersectează. Aceasta se datorește tulburării de coordonare a musculaturii oculare extrinseci. Mai adesea se întîlnește *strabismul convergent.* În acest caz axele optice sînt deviate înăuntru (înspre

a

c

d

Fig. VI.5

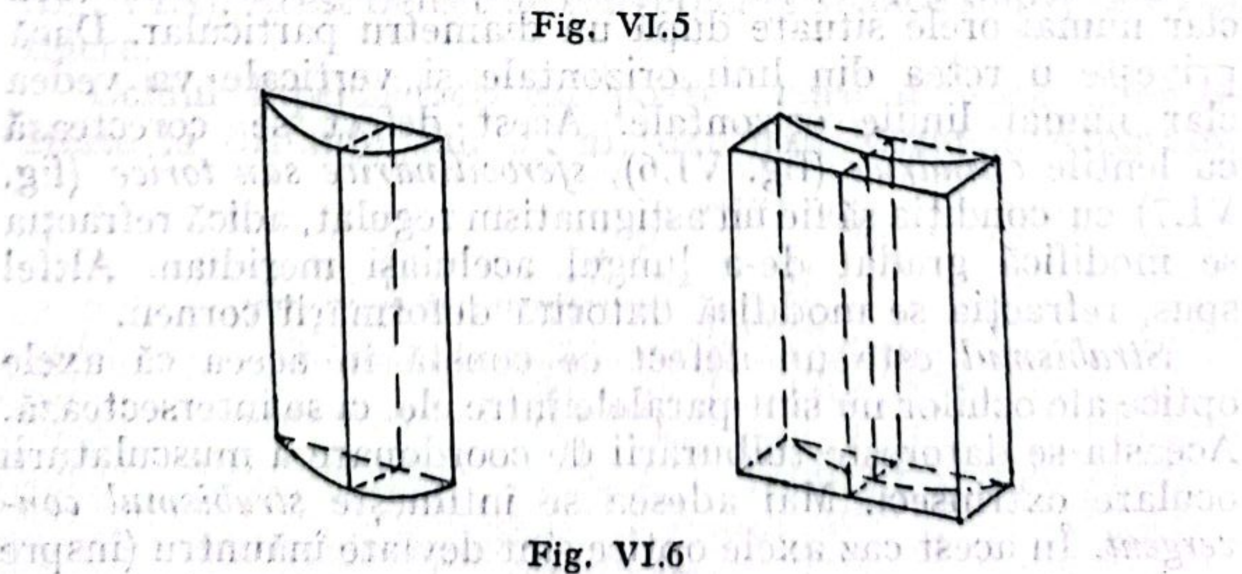


Fig. VI.6

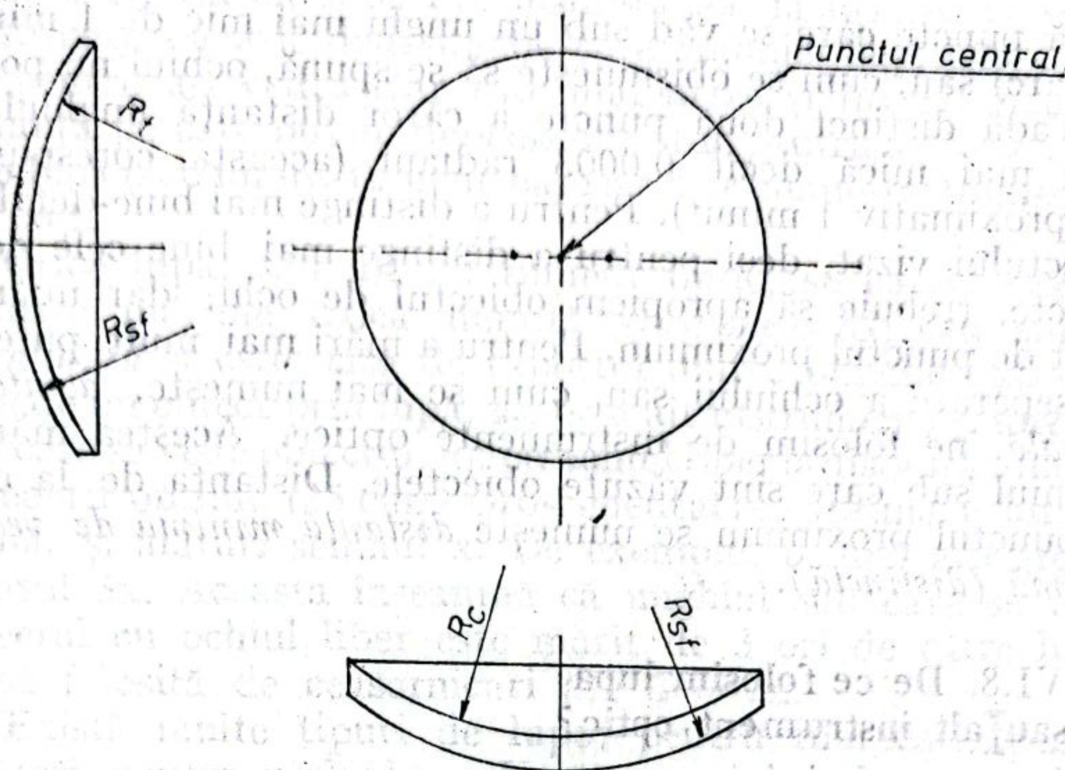


Fig. VI.7

interior). *Strabismul este divergent* atunci cînd axele optice ale ochilor sînt deviate în afară (înspre exterior).

Afakia (din grecește *a* înseamnă absență și *phakos* = lentilă) constă în faptul că ochiului îi lipsește cristalinul, fie congenital, fie datorită altor cauze. Extragerea cristalinului este o operație chirurgicală curentă la subiecți atinși de cataractă, maladie caracterizată prin opacifierea părții anterioare a ochiului. Cataracta poate fi senilă, dar diabetul, albuminuria și manipularea anumitor substanțe predispun la cataractă.

Corectarea acestei anomalii constă în înlocuirea cristalinului absent sau extras printr-o lentilă menisc convergent plasată în fața ochiului. Se preferă lentila bifocală sau lentila avînd curbură progresivă (lentilă progresivă).

Un alt defect de vedere este *daltonismul*. Despre aceasta am arătat la paragraful VI.5.

VI.7. De ce ochiul nu poate distinge puncte oricît de apropiate?

Retina prezintă o parte foarte sensibilă denumită pata galbenă (v. fig. V.3), caracterizată prin anumite particularități fiziologice, ceea ce face ca ochiul să nu poată distinge

două puncte care se văd sub un unghi mai mic de 1 minut (de arc) sau, cum se obișnuiește să se spună, ochiul nu poate să vadă distinct două puncte a căror distanță unghiulară este mai mică decît 0,0003 radiani (aceasta corespunde la aproximativ 1 minut). Pentru a distinge mai bine detaliile obiectului vizat, deci pentru a distinge mai bine cele două puncte, trebuie să apropiem obiectul de ochi, dar nu mai mult de punctul proximum. Pentru a mări mai mult puterea de separare a ochiului sau, cum se mai numește, *acuitatea vizuală*, ne folosim de instrumente optice. Acestea măresc unghiul sub care sînt văzute obiectele. Distanța de la ochi la punctul proximum se numește *distanță minimă de vedere optimă (distinctă)*.

VI.8. De ce folosim lupa sau alt instrument optic?

Dar ce este o lupă? Cea mai simplă lupă constă dintr-o lentilă convergentă. Sînt lupe constînd dintr-o lentilă convergentă și una divergentă, alipite, pentru înlăturarea unor defecte (aberații), sau lupe constînd din două lentile plan convexe, sau lupe formate chiar din trei lentile. Oricare ar fi tipul de lupă aceasta are o distanță focală sub 10 cm. Figura VI.8 arată cum se produce mărirea unghiului sub care se vede un obiect în prezența lupei. (La orice tip de lupă, obiectul trebuie așezat între focarul principal și lupă.) Se observă

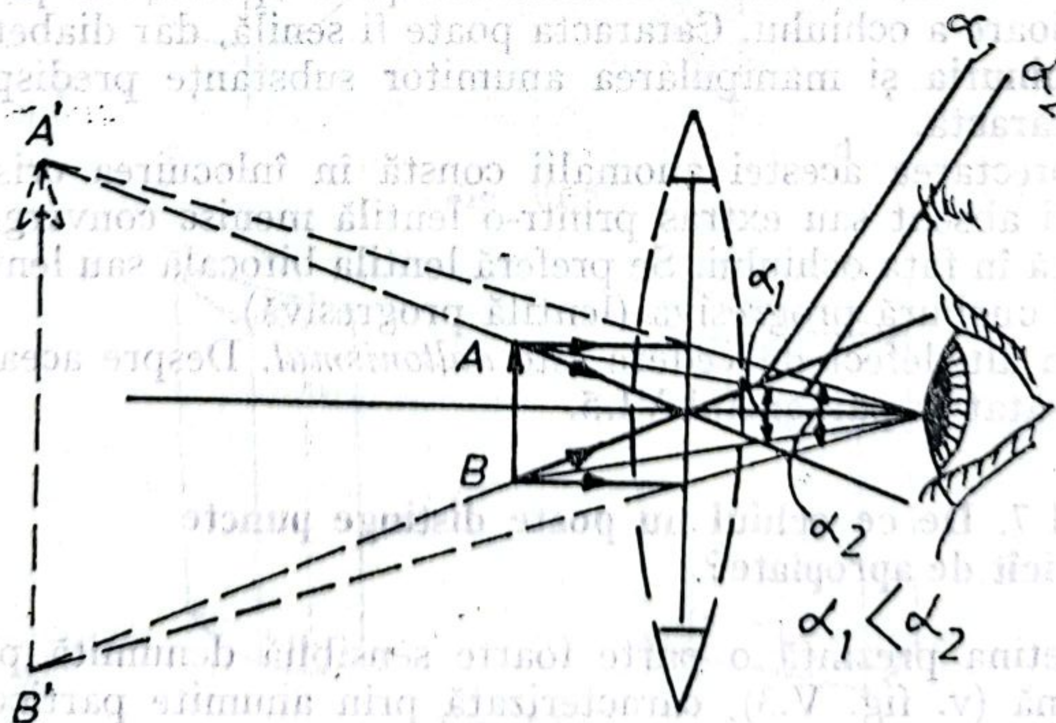


Fig. VI.8

că $\alpha_1 < \alpha_2$. Cu cît lupa are distanța focală mai mare (pînă la 10 cm), cu atît distanța pe care trebuie deplasat obiectul pentru a-l vedea clar este mai mare și invers. Această distanță pe care putem deplasa obiectul pentru a-l vedea clar prin lupă (sau un instrument oarecare) se numește *profunzime de cîmp*.

Orice lupă, sau alt instrument optic, se caracterizează printr-o mărime fizică numită *grosisment* (*G*) sau *mărire unghiulară* și este dată de raportul dintre unghiul sub care se vede un obiect prin lupă, α_2, (sau alt instrument) și unghiul sub care se vede obiectul, α_1, cu ochiul liber la distanța minimă a vederii optime (25 cm). Grosismentul se exprimă printr-un număr și alături semnul x. De exemplu, o lupă are grosismentul 3x. Aceasta înseamnă că unghiul sub care se vede obiectul cu ochiul liber este mărit de 3 ori de către lupă. Lupa folosită de ceasornicari are $G = 3x$.

Există multe tipuri de lupe: pentru filateliști, pentru țesători, pentru geologi ș.a. Un tip special de lupă este *lupa Brinell*. Aceasta constă dintr-o lentilă convergentă (sau două lentile) montată la extremitatea unui mic tub metalic înnegrit în interior, la extremitatea opusă fiind practicată o fereastră și montată o scală, între focarul lupei și lupa propriu-zisă. Scala este gradată în unități de lungime mai mici decît milimetrul. Lupa Brinell servește la măsurarea unor distanțe foarte mici, care nu pot fi măsurate prin alt mijloc.

Lupa Stanhope constă dintr-un mic cilindru de sticlă, avînd o extremitate plană, iar cealaltă extremitate sferică (fig. VI.9). Pe fața anterioară, plană, se lipește o microfotografie. Observatorul o va vedea mult mărită. O astfel de lupă se fixează, uneori, într-o montură, în mici obiecte, brelocuri, prin care se pot vedea microfotografiile aplicate ale unor monumente ori peisaje.

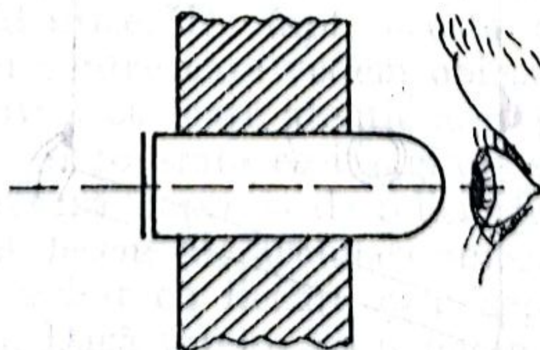


Fig. VI.9

Un aparat optic care merită să-l descriem aici, deoarece nu este prezentat în nici o carte de fizică, dar există în magazinele de tehnică medicală și în cabinetele de oftalmologie, este *frontifocometrul*, numit cîndva *dioptrimetru*. Cu ajutorul lui se determină convergența, respectiv divergența lentilelor ș.a.

Acest aparat, așa cum se vede pe figura VI.10, se aseamănă cu un microscop optic și constă din corpul aparatului *C*, un ocular *O*, o lupă *L*, prin care se privește o scală etalonată în dioptrii, suportul *S* pe care se așază lentila a cărei convergență, respectiv divergență, trebuie verificată sau determinată, șurubul *Ș*, care servește la centrarea lentilei în cîmpul

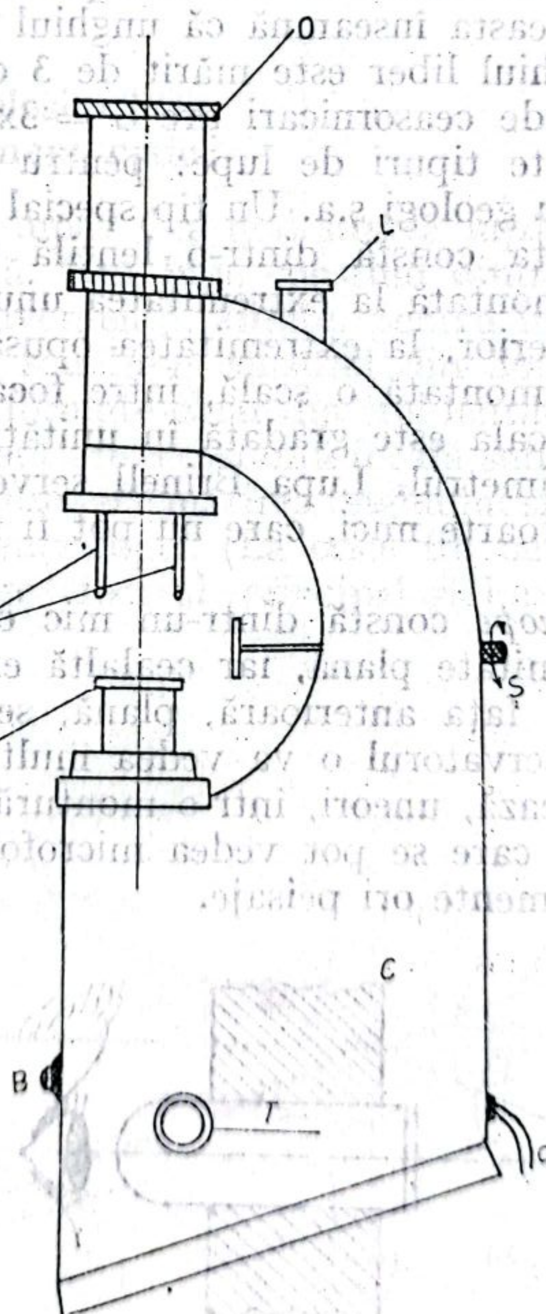


Fig. VI.10

ocularului, doi palpatori S' prevăzuţi la extremităţile libere cu material elastic şi care servesc la fixarea lentilei, un bec electric care serveşte la iluminarea cîmpului de observare şi care se conectează la reţea prin intermediul unui cordon c; în alcătuirea frontifocometrului mai intră tamburul T, care serveşte la obţinerea imaginii clare a unui cerc format din puncte luminoase strălucitoare, de culoare verde deschis, care se află în interiorul aparatului. Cu acest aparat se mai verifică (determină) poziţia axei optice inactive (axa cilindrului) la lentilele cilindrice şi torice.

Pentru determinarea ori verificarea convergenţei sau a divergenţei unei lentile se procedează astfel: se aşază lentila pe suportul S şi se coboară palpatorii S', fixînd astfel lentila pe suport; se introduce ştecherul cordonului electric în priză şi privind prin ocularul O se văd în cîmpul acestuia puncte verzi neclare. Cu ajutorul şurubului $Ş$ se centrează lentila, iar cu tamburul T, prin rotirea acestuia într-un sens sau altul, se obţine o imagine clară a cerculeţului de puncte luminoase de culoare verde. În acest moment se citeşte prin lupa L convergenţa, respectiv divergenţa lentilei.

VI.9. Despre stereoscop

Imaginile obiectelor pe care le vedem se formează pe retina ochiului şi sînt plane. Totuşi, noi vedem obiectele poziţionate spaţial şi tridimensionale, putînd distinge forma lor. Desigur că ne întrebăm, care este explicaţia acestui fenomen? Răspunsul este următorul: forma obiectelor reiese datorită, în primul rînd, faptului că diferitele părţi ale acestora nu sînt iluminate uniform. Apoi, acomodarea inegală a ochiului, adică ochiul trebuie să se acomodeze pentru fiecare punct-obiect, acestea fiind, faţă de ochi, la distanţe inegale. La acestea se adaugă faptul că imaginile formate pe retina fiecărui ochi nu sînt identice. De fapt, acesta constituie cel mai important lucru pentru care vedem obiectele în relief. Într-adevăr dacă privim cu mare atenţie acelaşi obiect cu fiecare ochi, separat, vom constata că imaginile nu sînt chiar identice. Aceasta creează impresia de relief. În figura VI.11 sînt prezentate două desene ale aceluiaşi obiect, un cub de sticlă cu pete pe el, privit cu fiecare ochi separat (desenul este puţin exagerat). Dacă privim acest desen astfel încît fiecare ochi să vadă imaginea corespunzătooare lui, atunci vom observa

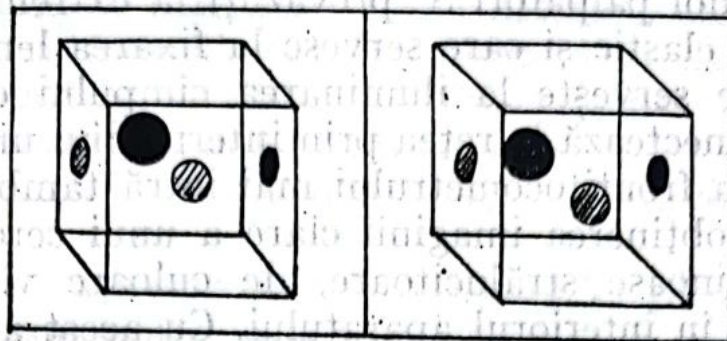


Fig. VI.11

că în locul celor două figuri se vede una singură în relief și chiar mai pronunțat decît se vede în realitate.

Un cuplu de desene (cuplu stereoscopic), ca acela din figura VI.11 se privește cu un aparat (instrument) denumit *stereoscop*.

În figura VI.12 este prezentată schema stereoscopului. Funcționarea sa se bazează pe posibilitatea de vedere stereoscopică a ochilor (a celor doi ochi). Așa cum se vede

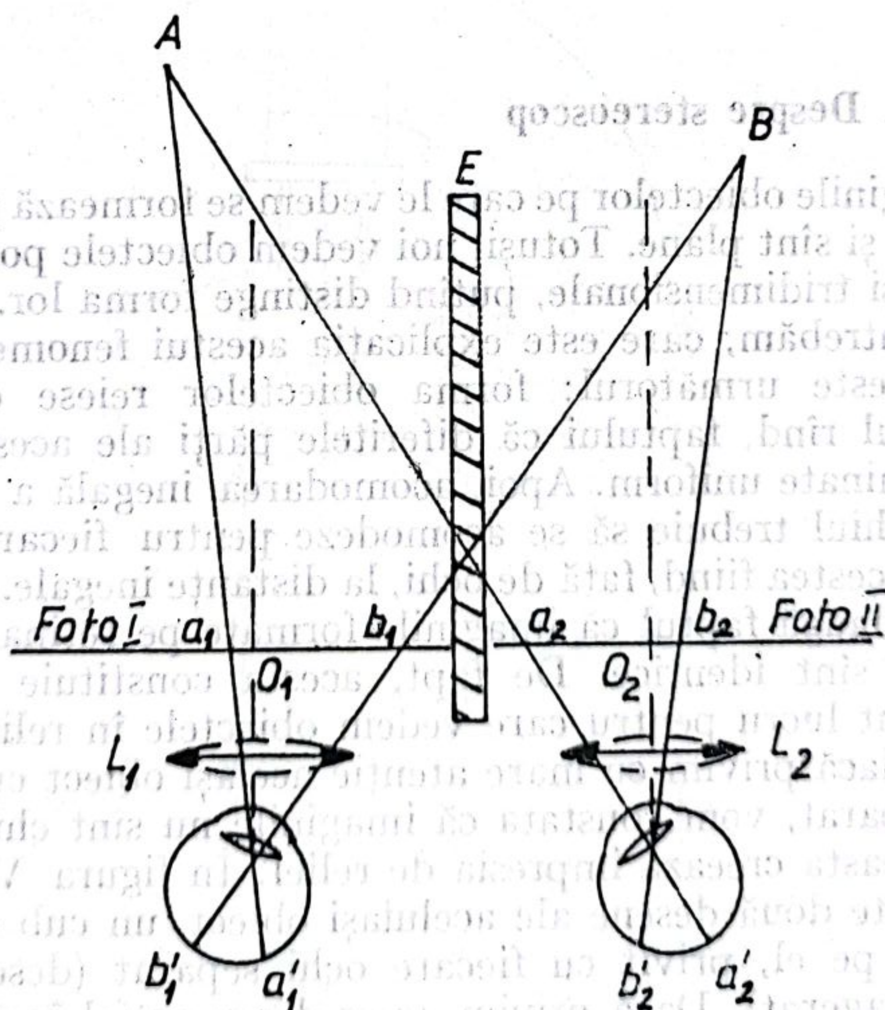


Fig. VI.12

pe figură, acesta constă din două lentile-ocular convergente (de distanță focală nu prea mare; pînă la 10 cm), avînd centrele optice depărtate între ele cu o distanță egală cu distanța interpupilară medie (dintre axele optice ale ochilor cînd acestea sînt paralele între ele). Cu acest aparat se examinează separat, dar simultan, fiecare probă dintr-un cuplu stereoscopic, cuplu constituit din două fotografii luate cu un aparat fotografic cu două obiective între ale căror axe optice există o distanță egală cu distanța interpupilară medie. Astfel de aparate de fotografiat se fabrică și există și în comerț; dar se găsesc mai rar prin magazine, nefiind încă prea solicitate, iar construcția lor nu este prea simplă.

Am notat cu a_1 și a_2, respectiv cu b_1 și b_2 imaginile a două puncte A și respectiv B de pe fiecare dintre cele două probe. Ecranul E separă cîmpurile celor două lentile ocular L_1 și L_2. Observatorul contopește imaginile punctelor omoloage și efortul practicat de a face ca axele optice ale celor doi ochi să conveargă creează senzația de relief. În acest fel se pot aprecia distanțele referitoare la obiecte.

VI.10. Cîteva experiențe simple care evidențiază efectul stereoscopic

Să privim figura VI.13 în felul următor: plasăm desenul la o distanță de 20—25 cm față de ochi, fixînd privirea asupra spațiului dintre cele două pete negre. Deci acomodăm ochii pe desen (cîteva secunde). Apoi acomodăm ochii pentru infinit, adică acomodăm ochii pentru a vedea un obiect dincolo de desen. Vom observa că după un anumit interval de timp, cele două pete se confundă. La fel vom proceda cu desenul din figura VI.14. De această dată vom avea impresia că vedem interiorul unei țevi lungi. Cititorii care folosesc ochelari nu trebuie să-i înlăture, ci să privească cu ei. Atenționăm cititorii că cele arătate mai sus se văd după

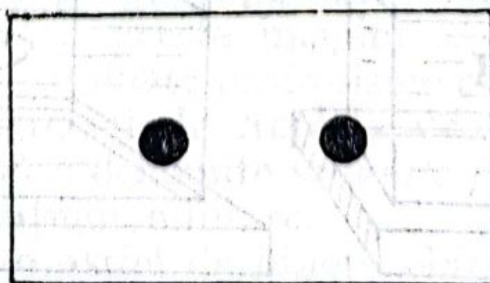


Fig. VI.13

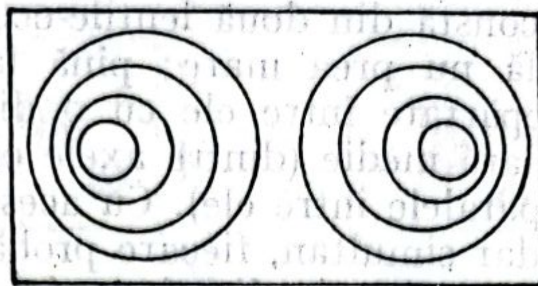


Fig. VI.14

mai multe încercări și apropiind sau depărtînd pagina cărții cu desenul. Se impune, pentru o mai ușoară reușită a experienței, ca desenul să fie bine iluminat. Privind în același mod figura VI.15 vom avea impresia că vedem o sticlă transparentă de acvariu.

Dacă într-un stereoscop introducem două desene absolut identice, atunci vom vedea un singur desen. Dacă însă, unul dintre desene diferă foarte puțin de celălalt, atunci apare efectul de profunzime. Un exemplu pentru fixarea ideilor: să considerăm două desene constînd fiecare din cîte o pată circulară neagră cu același diametru, ca în fig. VI.13. Introduse în stereoscop vom observa o singură pată neagră. Repetăm experiența cu aceleași două pete prevăzute cu cîte un diametru constînd dintr-o linie subțire albă. Dacă diametrele sînt trasate identic nu vom observa nici o deosebire. Dar dacă unul din diametre va fi puțin curbat, atunci privind desenele prin stereoscop vom avea impresia de profunzime; diametrul se va vedea fie în spatele planului petei negre, fie în fața acestui plan. Pe acest efect neașteptat se bazează descoperirea unor falsuri cum ar fi de exemplu bancnotele false. Procedeul este simplu. Se așază în stereoscop o bancnotă care știm că este adevărată și una pe care o presupunem

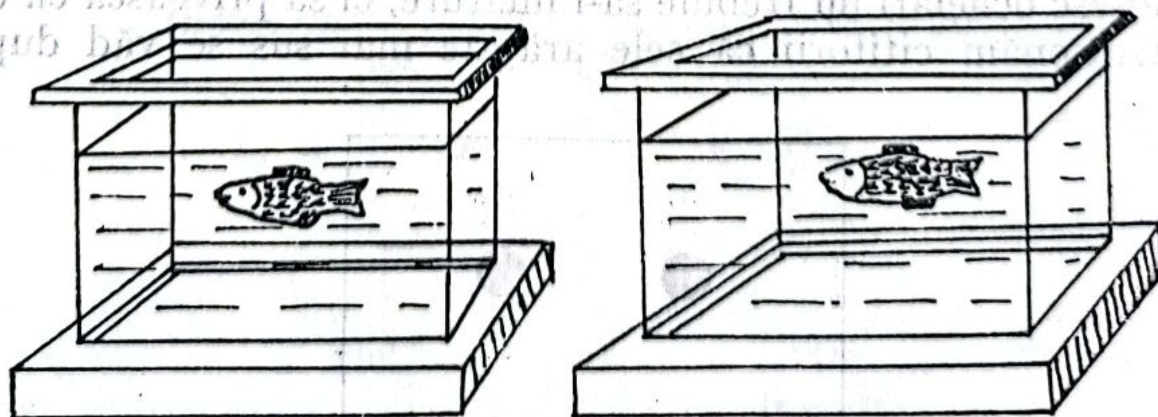


Fig. VI.15

falsă. Dacă, privind, se observă o singură bancnotă, fără a avea impresia unei profunzimi, atunci bancnota presupusă falsă este bună. Dacă însă, vom observa o singură imagine, dar cu efect de profunzime, atunci bancnota presupusă falsă este într-adevăr falsă.

Procedeul este sigur numai pentru unele bancnote, deoarece datorită noilor condiții tehnice de tipărire a bancnotelor, acestea, privite prin stereoscop nu dau impresia unei imagini riguros plane, cu toate că bancnotele introduse sînt, ambele bune, deci identice. Cu această metodă se pot descoperi și timbre false, cu destulă greutate, dar mai ales documentele falsificate. Ideea metodei aparține fizicianului H. W. Dove, care a lansat-o în anul 1850.

VI.11. O problemă mai deosebită: luneta stereoscopică

S-a demonstrat că, practic, obiectele aflate la o distanță mai mare de 450 m față de ochii noștri apar într-un singur plan. Cu alte cuvinte dispare impresia de profunzime și deci peisajele sau clădirile îndepărtate ne apar într-un singur plan. De asemenea, privind Luna și stelele pe o anumită regiune pe bolta cerească, acestea ne apar într-un singur plan, cu toate că Luna este cu foarte mult mai apropiată de Pămînt. Explicația constă în aceea că distanța interpupilară (aproximativ 6,5 cm) fiind mult prea mică în comparație cu cei 450 m, nu mai poate influența deosebirea dintre senzațiile vizuale. Așadar, pentru distanțe mai mari decît 450 m dispare posibilitatea ochilor noștri de a sesiza imagini în relief. Același lucru rămîne valabil și pentru fotografiile stereoscopice care s-ar obține de la o astfel de distanță. Pentru a obține totuși imagini stereoscopice ale obiectelor situate la peste 450 m se fac fotografii din două poziții aflate între ele la o distanță mai mare decît distanța interpupilară. Privite prin stereoscop astfel de fotografii dau senzația de relief. În acest fel se obțin imaginile stereoscopice ale peisajelor. Pentru ca aceste imagini să apară în mărime naturală, ele sînt examinate prin prisme care au fețe convexe și deci care măresc imaginile. Aceasta a condus la construirea *lunetelor stereoscopice*, denumite și *lunete foarfece*. Se folosesc îndeosebi în operațiuni militare.

Privind printr-o astfel de lunetă obiectele nu mai apar într-un plan, ci cu distribuția lor spațială și cu toate pro-

prietăţile lor: relief, paralaxă, profunzime de cîmp. În mod similar se văd peisajele, munţii ş.a. Dacă se priveşte o navă maritimă îndepărtată, cu ochii liberi, nava pare imobilă. Privită printr-o lunetă stereoscopică ea apare în mişcare.

Între grosismentul (mărirea unghiulară) lunetei stereoscopice şi distanţa dintre centrele optice ale obiectivelor, în comparaţie cu distanţa interpupilară, este o relaţie care exprimă de cîte ori este mai expresivă, mai reliefată, imaginea unui obiect văzut printr-o astfel de lunetă faţă de imaginea sa văzută cu ochiul liber. Această relaţie este de forma:

Reliefarea imaginii prin lunetă = grosismentul lunetei × de cîte ori este mai mare distanţa dintre centrele optice ale obiectivelor lunetei faţă de distanţa interpupilară.

Concret, să presupunem o lunetă cu un grosisment egal cu 8x şi cu distanţa dintre centrele optice ale obiectivelor de 4 ori mai mare decît distanţa interpupilară (6,5 cm). Vom scrie: $8 \times 4 = 32$. Aceasta înseamnă că imaginea văzută prin lunetă este de 32 ori mai reliefată, mai expresivă, decît obiectul văzut cu ochii liberi. Relaţia este valabilă pentru distanţe de pînă la 25—30 km.

Există lunete stereoscopice prevăzute cu o scară ce permite măsurarea distanţelor. Un astfel de aparat complex este denumit *telemetru stereoscopic* şi este folosit curent în marină, în artilerie, în geodezie ş.a.

Binoclul cu prisme este asemănător lunetei stereoscopice (fig. VI.16) şi cu el se obţine acelaşi efect, deoarece distanţa dintre centrele optice ale obiectivelor celor două lunete cu prisme ce alcătuiesc binoclul este reglabilă.

Există în comerţ binocluri alcătuite din două mici lunete Galilei, aşa numitele *binocluri de teatru*; acestea au distanţa dintre centrele optice ale obiectivelor cu puţin mai mică decît distanţa interpupilară. În acest fel imaginile apar mai puţin reliefate.

Stereoscopul este folosit şi în studierea astrelor. Acestea fiind la distanţe de zeci de milioane de kilometri, luneta stereoscopică devine inutilă. De aceea, pentru studierea corpurilor cereşti (Luna, planete, asteroizi etc.) se recurge la fotografierea acestora din acelaşi punct de pe Pămînt, luîndu-se două fotografii la interval de 24 ore. În acest timp corpul fotografiat şi-a schimbat poziţia faţă de Pămînt. Cele două fotografii diferă între ele, şi aşezate într-un stereoscop se vede imaginea în relief a astrului respectiv, putîndu-se măsura şi diferenţe de nivel. În cazul Lunii au fost

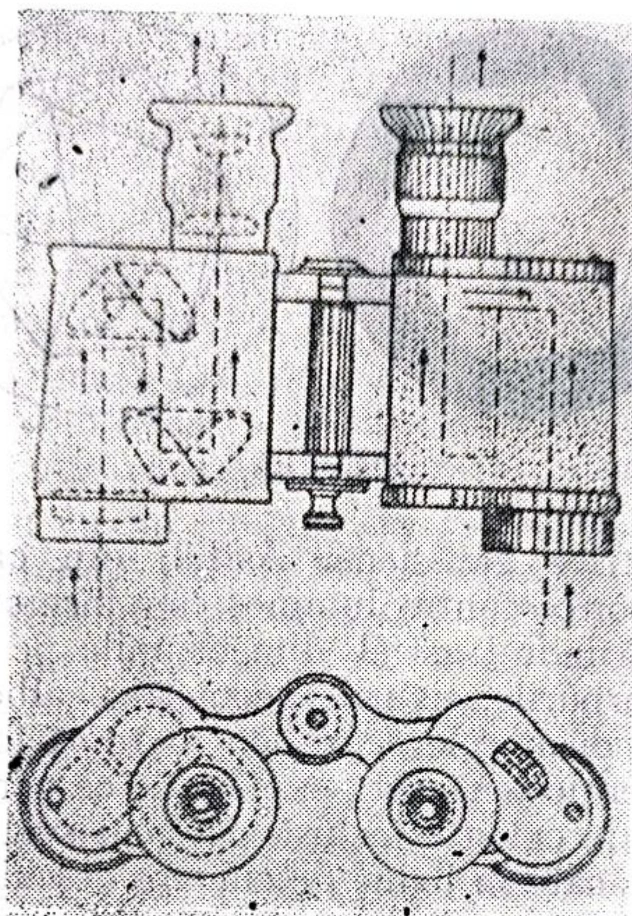


Fig. VI.16

determinate înălţimile munţilor lunari, deoarece relieful se vede foarte clar.

Cu ajutorul stereofotografiei se descoperă noi asteroizi, se studiază stelele duble ş.a.

În cazul nebuloaselor, cele două fotografii, care trebuie studiate prin stereoscop, se fac distanţate între ele printr-un interval de timp îndelungat, deoarece distanţa pînă la ele este cu mult mai mare decît pînă la stele.

VI.12. Cîteva surprize

Experienţa arată că dacă privim două figuri geometrice egale, una albă alta neagră, pentru ochi figura albă pare mai mare (figura VI.17). În figura VI.18 s-au reprezentat trei cercuri negre. Dacă cineva ne-ar cere să spunem cîte cercuri s-ar putea construi între cel de sus şi oricare din cele două cercuri de jos, am răspunde, evident, că cel puţin 4. În realitate nu se pot construi decît 3 cercuri negre. Încercaţi şi vă veţi convinge. Aceasta se datoreşte imperfecţiunii ochilor noştri, care cu toate că sînt consideraţi ca nişte aparate optice nu îndeplinesc întrutotul cerinţele

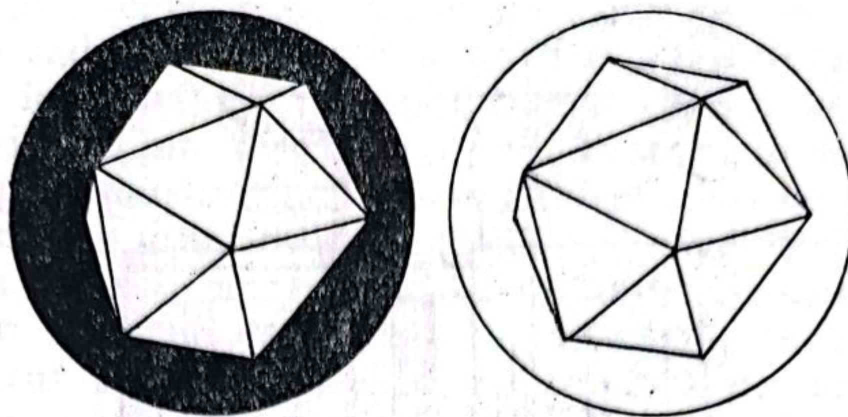


Fig. VI.17

opticii geometrice gaussiene. Astfel, din cauza aberației de sfericitate, orice contur luminos este încercuit de o bandă luminoasă, mărindu-i astfel dimensiunile pe retina ochilor și de aceea corpurile, figurile geometrice albe, apar pentru ochi mai mari decît cele negre, cu toate că forma și dimensiunile sînt identice. Aceasta explică de ce persoanele îmbrăcate în haine de culoare închisă par mai svelte decît atunci cînd sînt îmbrăcate în haine de culoare deschisă. Se și spune că persoanelor mai corpolente le stă mai bine cu haine de culoare închisă, le fac mai suple.

Dacă privim figura VI.18 de la o distanță mai mare decît distanța minimă a vederii distincte, atunci vom aprecia că distanța dintre cercul de jos și unul din cercurile de sus este cu mult mai mare decît în cazul descris anterior. Aceasta se datorește faptului că spațiului alb se adaugă mereu o bandă albă și totdeauna de aceeași lățime.

Privind figura VI.19 de la distanță mare vom constata că nu e vorba de cercuri albe pe fond negru cum pare cînd

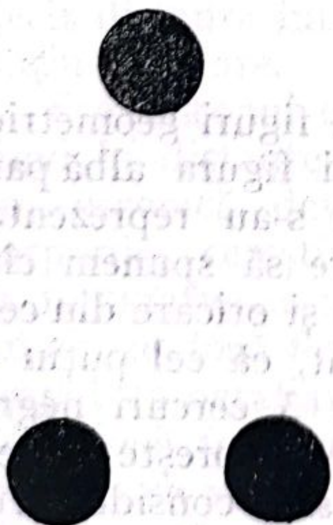


Fig. VI.18

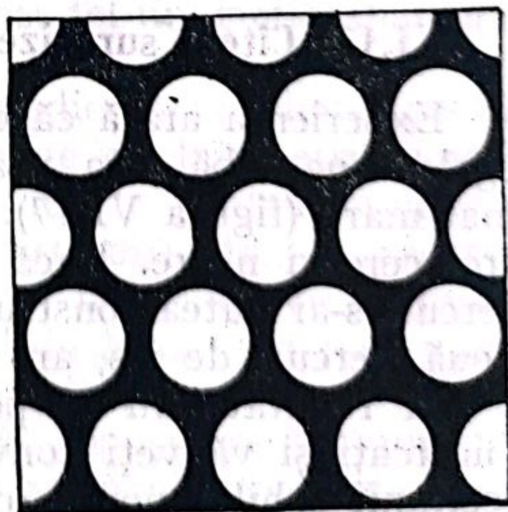


Fig. VI.19

este privită normal, ci sînt nişte hexagoane amintind imaginea unui fagure de albină. Dacă desenăm cercuri negre pe fond alb, în aceleaşi condiţii, vom constata acelaşi lucru; o imagine alcătuită din hexagoane negre, ansamblul formînd imaginea asemănătoare unui fagure.

Deoarece nu există, încă, o explicaţie riguroasă a celor arătate mai sus, nu intrăm în amănunte.

Să privim Luna în faza de *crai nou,* sau *Lună nouă,* cum se mai spune. Vom observa că raza exterioară a secerii este mai mare decît raza porţiunii din discul întunecat al Lunii.

Dacă privim cu un singur ochi figura VI.20 s-ar putea ca nu toate literele să pară la fel de negre, cu toate că în realitate sînt; haşura însă are înclinaţii diferite. În cazul cînd constatăm că una din litere este mai accentuată, atunci încercăm să privim figura din stînga ori din dreapta, aşa fel ca axele optice ale ochilor să formeze un unghi mare cu normala la planul figurii (de circa 90°). Vom observa că litera respectivă va apărea cenuşie, iar o alta mai neagră. Schimbînd poziţia ochiului vom vedea altă literă mai neagră. Cea mai neagră ne apare litera la care direcţia haşurii va fi paralelă cu axa optică a ochilor. Celelalte par cenuşii. Aceasta se datoreşte unei alte imperfecţiuni a ochiului, unui alt defect care se numeşte *astigmatism.* Datorită acestui defect, care la un ochi este mai pronunţat, la altul mai puţin, sau neglijabil, nu se văd clar şi în acelaşi timp toate liniile: verticale, orizontale şi oblice. Astigmatismul apare ca urmare a faptului că în ochiul nostru, razele de lumină paralele se refractă diferit, adică razele refractate au diverse direcţii. Dacă razele de lumină s-ar refracta identic, atunci astigmatismul nu ar exista. Practic, marea majoritate a oamenilor au astigmatism la ochi. Defectul se corectează cu lentile sfero-cilindrice sau torice. Astigmatismul se datoreşte inegalităţii curburii cristalinului sau a corneii (v. fig. V.3).



Fig. VI.20

VI.13. O întrebare: de ce unele corpuri ne par lucioase?

Răspunsul nu se poate da decît cu ajutorul stereofotografiei. În primul rînd trebuie să reamintim cititorului că unele suprafeţe care limitează un corp apar mate, din cauză că lumina este difuzată de suprafeţele respective după toate direcţiile. Alte suprafeţe apar lucioase datorită faptului că pe de o parte lumina este reflectată regulat de acestea, iar pe de altă parte, în fiecare ochi ajung un număr de raze reflectate. Se poate întîmpla chiar ca într-un ochi să nu ajungă deloc raze de lumină.

Cu alte cuvinte, suprafeţele şlefuite apar lucioase datorită diferenţei de luminozitate produsă pe retina fiecărui ochi de către imaginile suprafeţelor respective.

Ca să ne convingem de acest adevăr vom apela la următorul experiment: se foloseşte o stereofotografie ca aceea din figura VI.17. Privită printr-un stereoscop se vede o imagine spaţială strălucitoare, chiar dacă desenele fotografice au fost făcute pe hîrtie mată.

Fizicianul Helmholtz a arătat că desenele stereoscopice ale modelelor de cristale realizate chiar pe hîrtie mată, unul din desene în alb, iar al doilea în negru, în genul celui din figura VI.17, privite prin stereoscop dau impresia că modelul cristalelor este făcut din grafit lucios.

VI.14. Un alt mod de a vedea imagini în relief

Să presupunem că am desenat o literă sau am scris un nume cu o culoare, de exemplu albastră, pe un fond alb şi o privim printr-o sticlă albastră. Oare ce vom vedea? Deoarece sticla transmite numai radiaţiile albastre, vom vedea un fond luminos de culoare albastră, fiindcă litera sau literele ce alcătuiesc numele înscrise se vor confunda cu fondul albastru. În cazul că vom folosi culoarea roşie pentru litere şi sticla prin care privim va fi roşie, atunci vom vedea un fond roşu. Dar ce vom vedea dacă vom privi literele albastre prin sticla albastră? Desigur că cititorul a şi găsit răspunsul. Vom vedea literele negre pe un fond roşu, respectiv albastru, întrucît sticla nu transmite decît radiaţia în care apare ea colorată.

Să presupunem acum aceleaşi litere, vopsite cu o culoare roşie, apoi cu o culoare albastră într-un strat foarte subţire

(peliculă) şi că vom privi aceste litere prin ochelari care să aibă o sticlă roşie, pentru un ochi, şi o sticlă albastră pentru cel de al doilea ochi. Ce vom vedea oare, în acest caz? Vom vedea o singură imagine a literelor, dar în relief. Fiecare ochi va vedea imaginea neagră corespunzătoare culorii sticlei prin care priveşte. Aşadar, vom vedea o imagine în relief ca printr-un stereoscop. Încercaţi şi dumneavoastră!

VI.15. **Un domeniu care pare fantastic: iluziile optice**

Privind cu atenţie figura VI.21 oricare dintre noi va susţine cu fermitate că reprezintă nişte spirale, fie că se priveşte cu un ochi sau cu ambii ochi. Dar dacă cineva

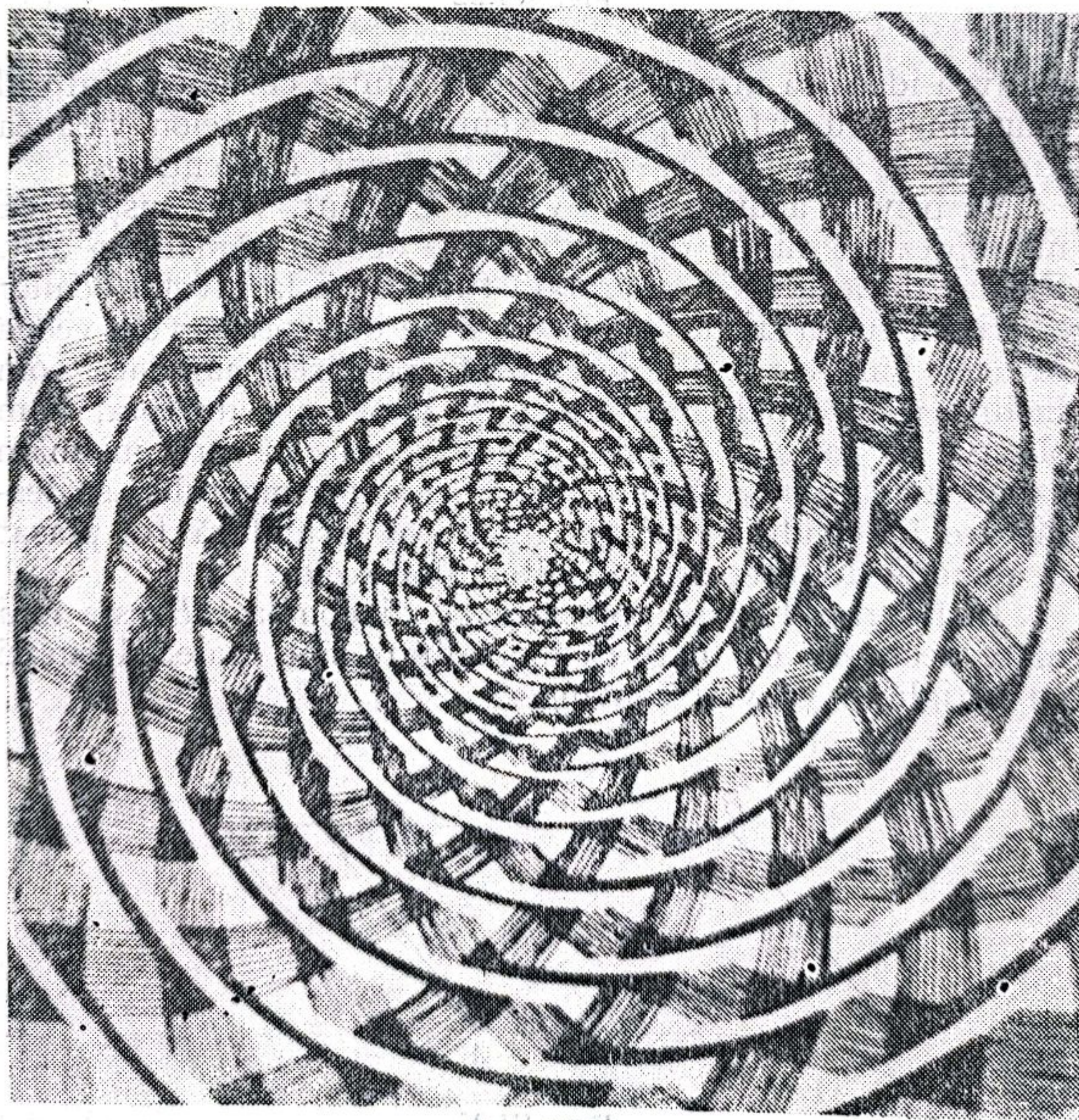


Fig. VI.21

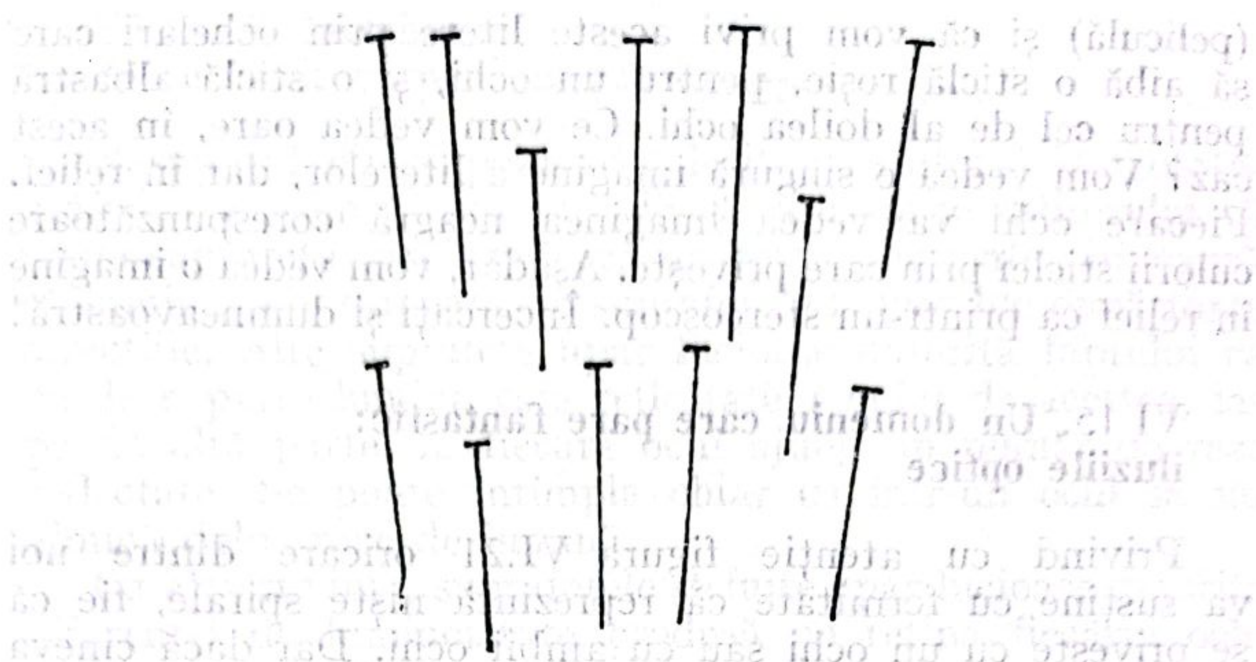


Fig. VI.22

va avea ideea să urmărească oricare dintre curbe cu ajutorul unui obiect cu vîrf, un pix de exemplu, sau un creion, va avea surpriza să constate că toate sînt cercuri concentrice.

Să privim acum figura VI.22. Evident, vom susține că nu reprezintă nimic deosebit. Niște ace cu gămălie și atît. Ei, dar dacă aducem suprafața filei cărții la nivelul ochilor și privim cu un singur ochi, vom avea o surpriză: vom vedea că acele sînt verticale, deci înfipte pe hîrtie, iar dacă vom înclina ușor capul spre stînga și apoi spre dreapta, vom observa că acele se înclină în același sens în care înclinăm capul. Este interesant, nu? Pentru ca experimentul să se desfășoare în condiții optime trebuie ca ochiul să fie plasat în punctul de intersecție al direcțiilor acelor.

În figura VI.23 se apreciază că diagonala *AB* este mai mare decît *AC* cu toate că în realitate sînt egale. Măsurați cu o riglă și vă veți convinge.

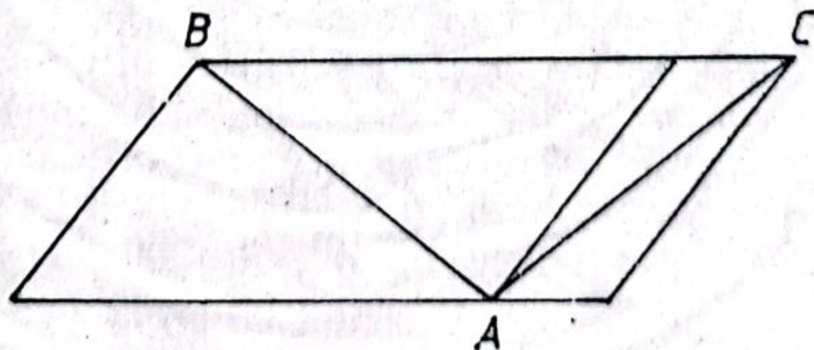


Fig. VI.23

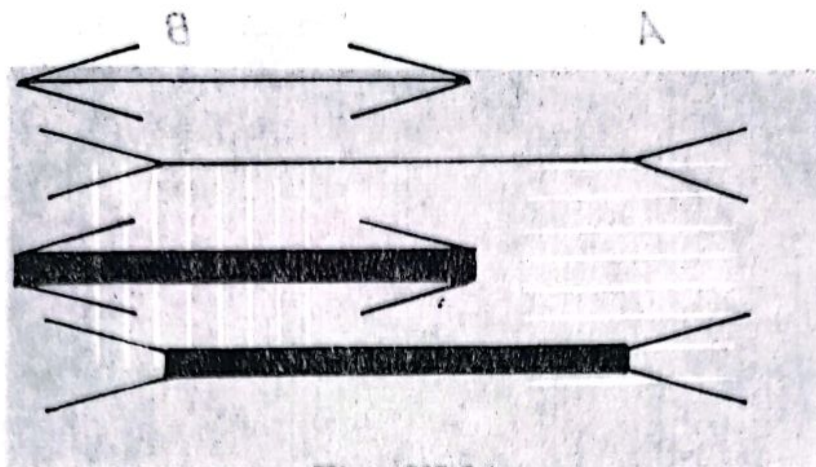


Fig. VI.24

Dacă privim figura VI.24 vom susține, desigur, că toate cele 4 segmente, sînt inegale. Mare va fi surpriza cînd vom măsura și vom găsi că sînt egale.

În fine, să mai urmărim figura VI.25. Oare putem preciza ce reprezintă? Unii cititori vor susține că este o scară, alții că este o hîrtie plată în formă de burduf de armonică.

În toate experiențele descrise aici este vorba despre așa numitele *iluzii optice*, care de fapt nu sînt „iluzii". Ceea ce vedem nu este o eroare a simțului vederii ca urmare a imperfecțiunii ochilor, ci a posibilităților noastre de a recepționa, de a aprecia, deoarece noi nu numai vedem, ci, în același timp și apreciem. Să dovedim afirmația. Pentru aceasta ne vom referi la figura VI.24; privind-o, segmentele mai

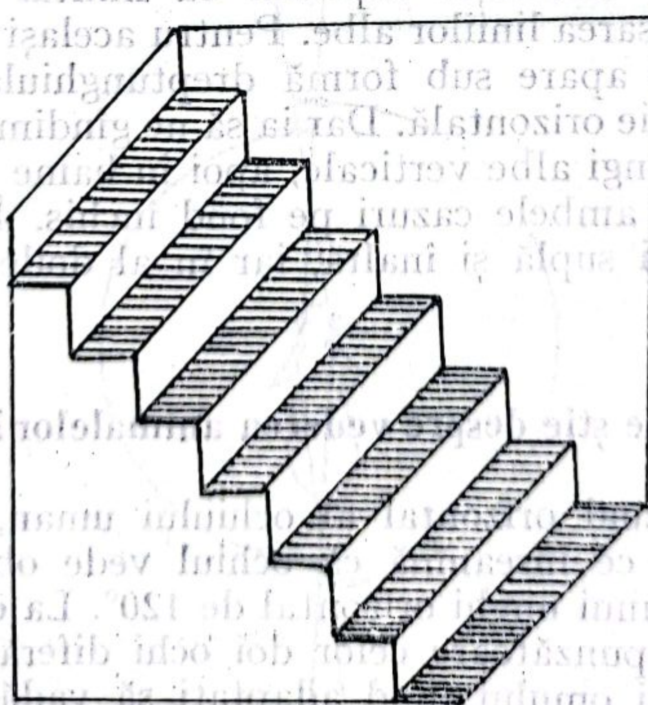


Fig. VI.25

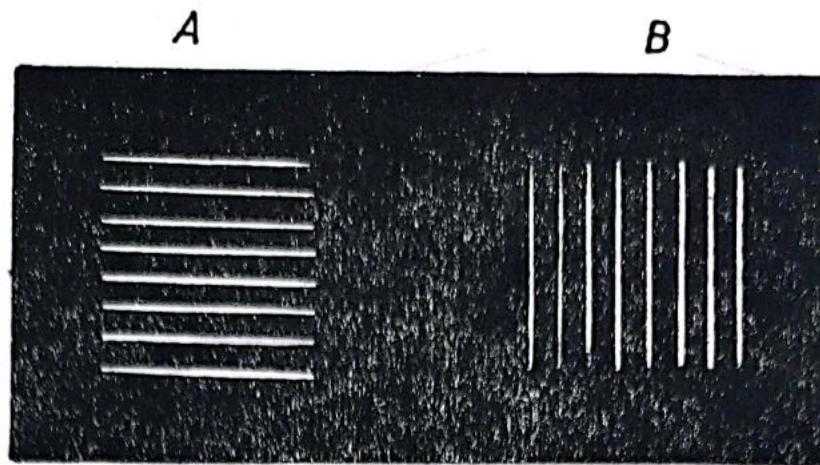


Fig. VI.26

groase ni se par mai scurte. Referindu-ne la figura VI.22, vom explica fenomenul astfel: direcțiile acelor, sînt astfel desenate încît să corespundă umbrelor lăsate de ace atunci cînd sînt înfipte vertical și privite așa cum s-a descris mai sus. Lăsăm explicațiile celorlalte figuri pe seama cititorilor. Aici se potrivește foarte bine afirmația „nu privim cu ochii, ci cu creierul".

Să mai privim și figura VI.26. Ceea ce vedem reprezintă două grupe de linii albe pe fond negru, fiecare avînd formă pătratică, pătratele fiind egale. Grupul A de linii pare mai îngust și mai lung, deci dreptunghiular, latura mică fiind orizontală.

Aceasta se datorește faptului că mintal și involuntar continuăm trasarea liniilor albe. Pentru același motiv, grupul B de linii ne apare sub formă dreptunghiulară cu latura mare pe direcție orizontală. Dar ia să ne gîndim la o persoană în haine cu dungi albe verticale, apoi în haine cu dungi albe orizontale; în ambele cazuri pe fond închis. În primul caz va apărea mai suplă și înaltă, iar în al doilea mai scundă și mai grasă.

VI.16. Ce se știe despre vederea animalelor?

Cîmpul vizual orizontal al ochiului uman, imobil, este de 120°, ceea ce înseamnă că ochiul vede obiectele aflate între laturile unui unghi orizontal de 120°. La om, cele două unghiuri corespunzătoare celor doi ochi diferă foarte puțin între ele, ochii omului fiind adaptați să vadă simultan un obiect. Această calitate se întîlnește la foarte puține ființe.

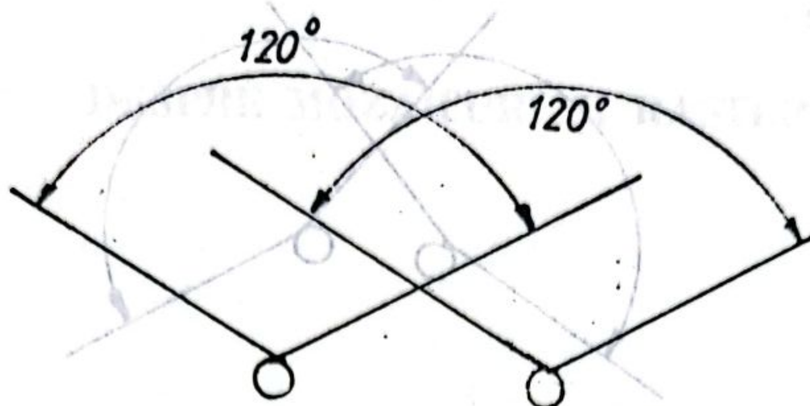


Fig. VI.27

În cazul animalelor, majoritatea dintre ele văd separat cu fiecare ochi, dar au cîmpul vizual mai mare. Relieful însă este mai redus decît la om.

La iepuri cîmpul vizual este foarte mare. În figura VI.27 se arată cîmpul vizual al ochilor umani, iar în figura VI.28 cîmpul vizual al iepurelui. Deosebirea este cît se poate de clară. Așa cum se vede pe figură, iepurele vede atît în față cît și în spate.

Aceasta explică de ce nu ne putem apropia de un iepure fără ca să ne observe. În schimb iepurele nu vede nimic în lungul botului său, iar pentru a vedea, totuși, el trebuie să efectueze o mișcare de întoarcere a capului.

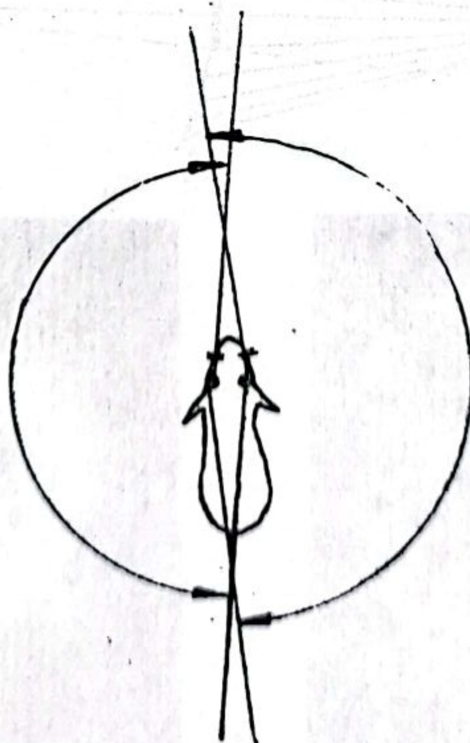


Fig. VI.28

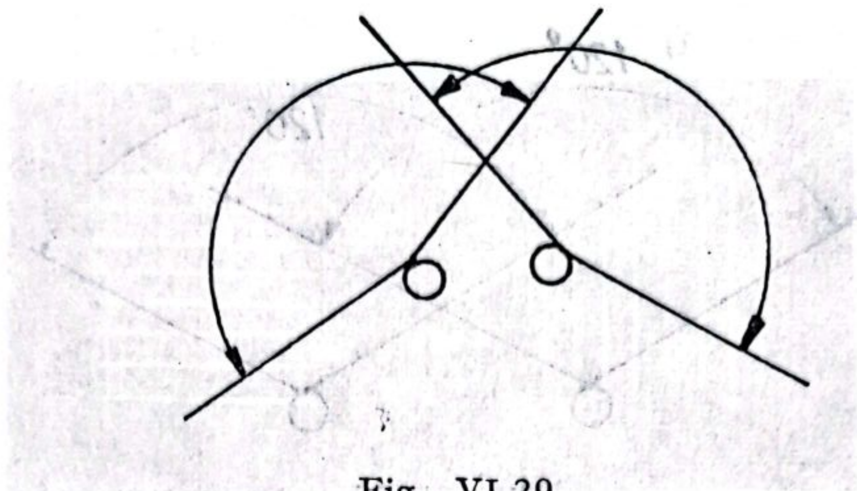


Fig. VI.29

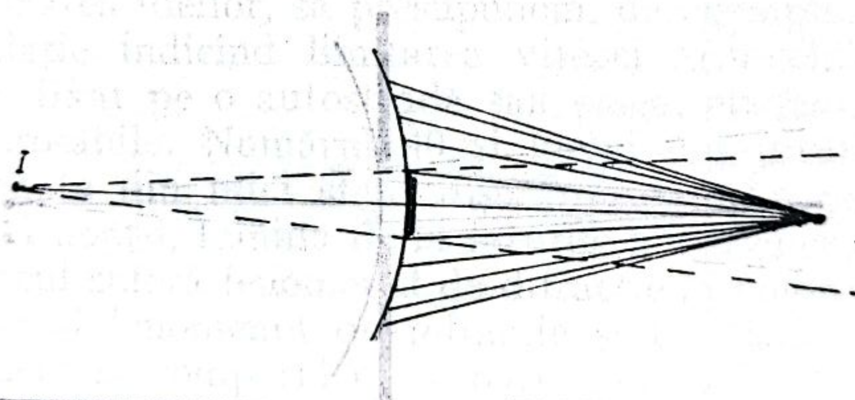
O astfel de vedere se întîlnește la aproape toate animalele copitate și rumegătoare. La cai cîmpul vizual este mult mai mic (fig. VI.29) decît la iepuri. De aceea calul nu vede și în spate ca iepurele, decît dacă întoarce puțin capul. Cercetările au arătat că imaginile obiectelor în ochii animalelor nu sînt clare, însă ochiul sesizează mișcarea.

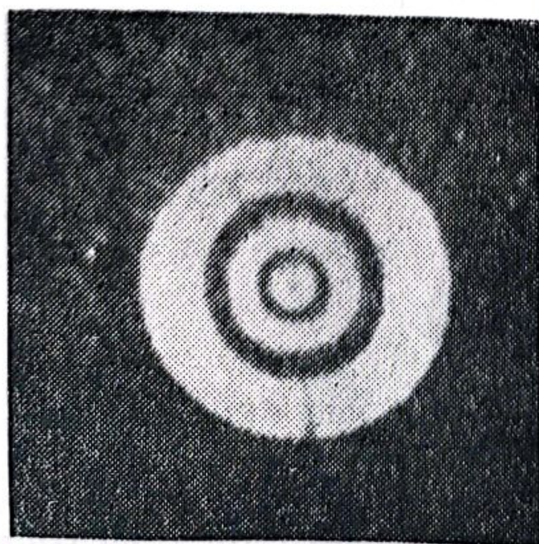
Tot cercetările, au demonstrat că animalele sălbatice au vederea în așa fel încît le permite să aprecieze cu exactitate distanța atunci cînd trebuie să efectueze un salt pentru a ataca. În schimb nu au posibilitatea de a vedea ceea ce se întîmplă în jurul lor.

DESPRE MOZAICURI ȘI RASTERE OPTICE

VII.1. În ce constă difracția luminii?

În fața unei surse punctiforme de lumină monocromatică, *I*, așezăm un ecran și între acesta și sursa de lumină punem un disc circular opac cu diametrul foarte mic. Pe ecran, în locul umbrei geometrice, de forma unei pete circulare negre ca urmare a propagării rectilinii a luminii (prima lege fundamentală a opticii geometrice), se observă o pată luminoasă cu diametru foarte mic, cu marginile ușor estompate, înconjurată de un ansamblu de franje alternativ luminoase și întunecoase din ce în ce mai estompate (figura VII.1 a, b, c),





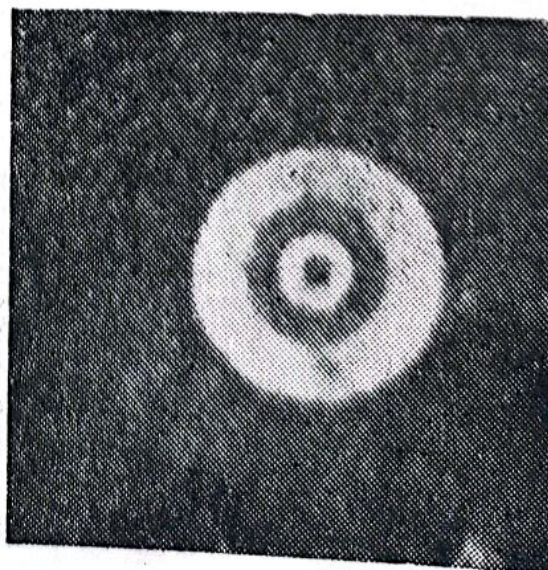


Fig. VII.1 a, b, c,

sau o pată mică întunecoasă înconjurată de inele întunecoase alternînd cu inele luminoase. Să modificăm acum experienţa, în sensul că în locul discului să folosim o deschidere circulară cu diametrul comparabil cu lungimea de undă a radiaţiei luminoase folosită, înspre care trimitem un fascicul îngust de lumină monocromatică (fig. VII.2 a). Pe un ecran se va observa o pată centrală luminoasă sau întunecoasă, ale cărei margini nu sînt nete, ci uşor estompate, înconjurată de un ansamblu de franje alternativ luminoase şi întunecoase, tot mai estompate (fig. VII. 2 b). Aceste experienţe dovedesc că există abateri de la propagarea rectilinie a luminii. Se observă, în ambele cazuri, că lumina pătrunde, se răspîndeşte, în umbra geometrică a corpurilor, sau că lumina ocoleşte obstacolele întîlnite. Fenomenul se numeşte *difracţia luminii*.

Pe un film fotografic voalat facem o zgîrietură fină pentru a strica stratul de emulsie şi privim apoi filamentul unui bec electric aprins şi îndepărtat, zgîrietura aşezînd-o paralelă cu filamentul becului. Vom observa franje alternativ luminoase şi întunecoase. Dacă lipim de film o sticlă roşie, verde sau albastră, atunci franjele, inclusiv cea centrală, vor fi colorate şi respectiv întunecoase.

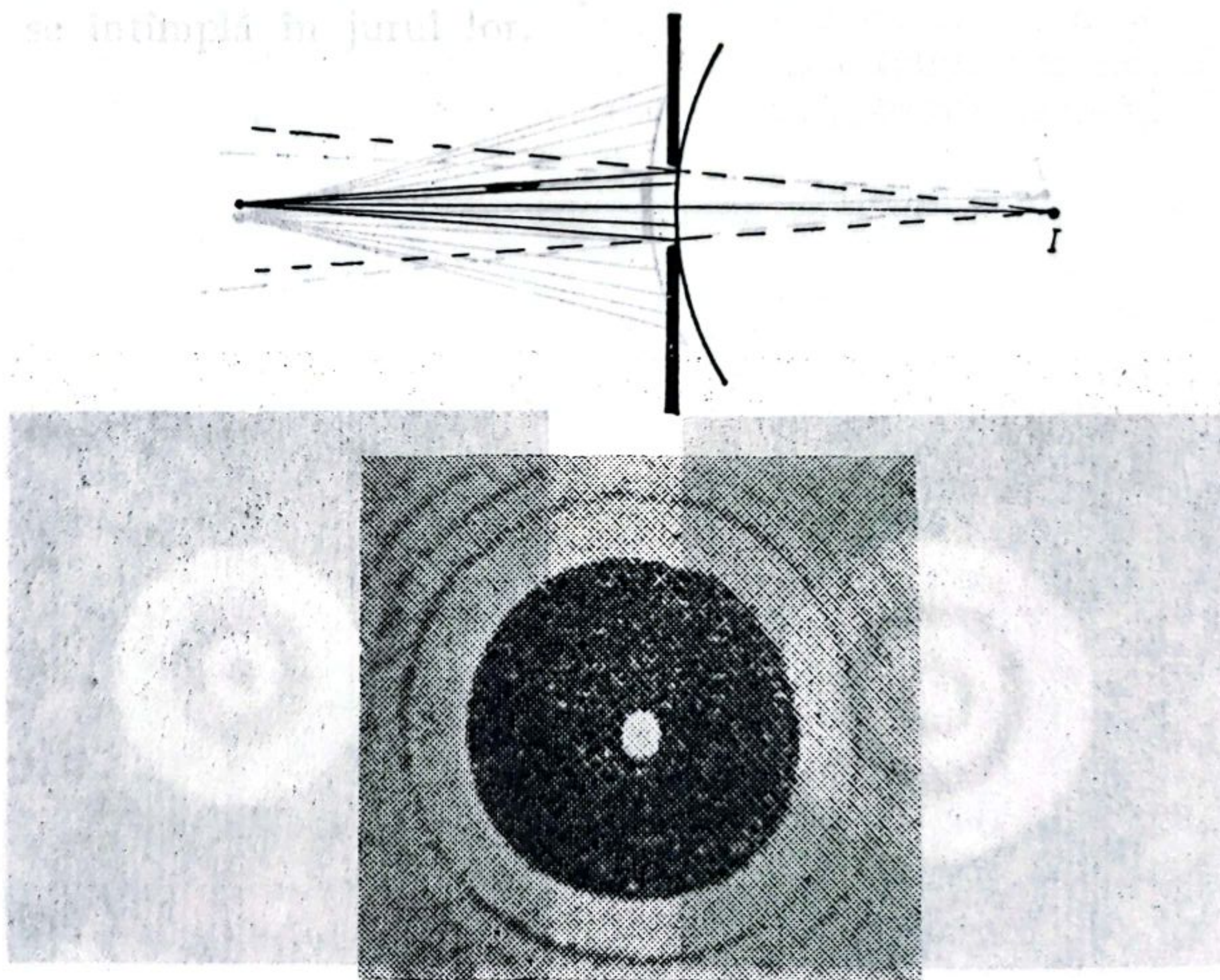


Fig. VII.2 a, b.

Aşezăm palma la 20—30 cm de ochi şi privim printre degetele alipite fondul luminos al unei ferestre. Vom observa cîteva franje alternativ luminoase şi întunecoase. Sînt tot franje de difracţie.

Să privim fondul luminos al unei ferestre cu ochii întredeschişi. Vom observa franje de difracţie.

În fine, să privim spre un bec aprins un creion, în lungul lui; vom vedea că este mai subţire la mijloc. În acelaşi timp, vom observa şi cîteva franje de difracţie.

VII.2. Ce sînt mozaicurile optice?

Mozaicul optic constă în tehnica aranjării şi lipirii de mici sfere (mărgele) de sticlă colorată pe un panou şi pe care lumina suferă fenomene de difracţie, refracţie şi reflexie. Mozaicul stă la baza realizării unor reclame, firme, afişe şi panouri de semnalizare rutieră. Pentru construcţia acestora, se folosesc sfere fine din sticlă colorată, care se lipsesc pe un panou, într-o astfel de ordine încît să formeze, în ansamblul lor, reclama, firma, afişul sau un semn de circulaţie. Pentru fixarea ideilor, să presupunem, de exemplu, un semn de circulaţie indicînd limitarea vitezei autovehiculelor la 40 km/h, fixat pe o autostradă sau şosea, evident, în afara părţii carosabile. Numărul 40 şi inelul din jurul său sînt confecţionate din mici sfere roşii lipite pe un panou alb. În timpul nopţii, lumina de la farurile autovehiculelor întîlnind panoul suferă fenomenul de difracţie la trecerea printre sfere, dar şi fenomenul de refracţie şi focalizare, deoarece fiecare sferă se comportă ca o foarte mică lentilă. Ajungînd apoi pe suprafaţa albă a panoului lumina se reflectă şi trece din nou prin şi printre micile sfere suferind aceleaşi fenomene şi astfel ajunge la ochii celor din autovehicul, imaginea fiind colorată în roşu, foarte plăcută la vedere şi stridentă, încît atrage uşor atenţia. Unele reclame, firme, sînt confecţionate similar. Efectul este extrem de interesant şi plăcut noaptea. În timpul zilei efectul este mai puţin strident.

VII.3. Dar rasterele?

Rasterele sînt piese optice care constă din lame de sticlă pe care s-au gravat sisteme de linii sau de puncte foarte fine şi se folosesc în tipografii, în arta fotografică şi în repro-

ducerile artistice. Rasterele sînt numite în limbajul tipografilor și *site*. Pe aceste site lucrătorii tipografi imprimă cerneala.

Rasterele sînt folosite în tipografii la realizarea imaginilor de pe ziare, reviste, fie în alb-negru sau color. Într-adevăr, dacă privim printr-o lupă astfel de imagini, vom observa că ele sînt alcătuite dintr-un număr de puncte dispuse într-o anumită ordine, așa fel încît să formeze, în ansamblu, portrete, peisaje, clădiri, etc. Imaginile de pe ziare cuprind 150—180 de puncte pe un centimetru pătrat. Imaginile color cuprind pînă la 200 de puncte pe un centimetru pătrat și chiar mai mult.

În fotoreproducerile artistice se procedează astfel: în fața subiectului de fotografiat se așază un raster și apoi se fotografiază subiectul respectiv din toate părțile, în interiorul unui unghi de 180°. Fotografiile obținute sînt apoi îmbinate, într-un anumit mod (măestria fotografului are un rol decisiv), iar deasupra lor se așază un raster. Dacă se privește acum tabloul astfel obținut, imaginea apare vizibilă din toate părțile și cu senzația de relief. Astfel de tablouri se folosesc ca reclame, afișe ș.a.

În ultima vreme au apărut tot felul de portrete, tablouri, în culori, care dau impresia de mișcare atunci cînd sînt ușor rotite, sau cînd se deplasează, puțin, persoana care privește. Și în acest caz se folosește un raster, dar de o construcție specială. El constă dintr-o folie de material plastic transparent și incolor, cu grosimea de cîteva zecimi de milimetru, pe care s-au gravat un ansamblu de lentile aproape semicilindrice, extrem de fine; 32—50 de semilentile pe un centimetru. O secțiune prin astfel de semilentile este arătată în figura VII.3. Fotografiile respective sînt făcute folosind tehnica fotografică color îmbinată cu tehnica mozaicului. Privite printr-un microscop de grosisment nu prea mare (20 x—50 x) se vede bine atît mozaicul cît și rasterul.

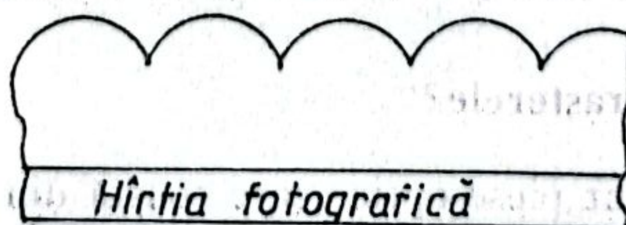


Fig. VII.3

Cum apare senzația de mișcare? Foarte simplu. Pe două pelicule fotosensibile extrem de fine se fotografiază persoana, peisajul etc., în două ipostaze și din două poziții diferite, se developează și apoi se suprapune, iar peste ele se așterne rasterul despre care am vorbit mai sus. Pentru a proteja peliculele, pe fața posterioară se aplică o foaie de hîrtie albă. Lumina zilei, de exemplu, întîlnind ansamblul de semilentile pătrunde în acestea suferind fenomenele de difracție și de refracție, apoi lumina reflectîndu-se, suferă aceleași fenomene, după care ajunge la ochiul persoanei care privește. Rotind ușor fotografia, ajung mereu alte raze de lumină la ochiul persoanei care privește, reproducîndu-se, astfel, pe retină alt detaliu al subiectului fotografiat. Astfel se creează senzația de mișcare. Pe această bază s-au editat pentru copii așa-numitele „cărți vii". Cînd se întorc filele cărți apare senzația de mișcare. Evident, pe fiecare pagină se află un raster ca cel descris mai sus.

Încheiem acest subiect cu o altă aplicație interesantă și nouă a fenomenului de difracție, *lupa*. Aceasta constă dintr-o folie de material plastic perfect transparent și incolor, avînd grosimea de cîteva zecimi de milimetru, pe care s-au gravat foarte multe cercuri concentrice, foarte fine, avînd în secțiune aspectul lentilelor aproape semicilindrice (fig. VII.4, a, b). Figura VII.4, a reprezintă aspectul general al lupei, distanța dintre cercuri fiind foarte mult mărită, iar figura VII.4, b reprezintă aspectul în secțiune (secțiunea după *AA'*). Se observă că aspectul este asemănător cu acela din figura VII.3. Grosismentul este de 3 x. Prezintă un dezavantaj: claritate insuficientă și scăderea acesteia în timp. Un mare avantaj al acestui tip de lupă este acela că fiind plană și foarte subțire poate fi purtată ușor.

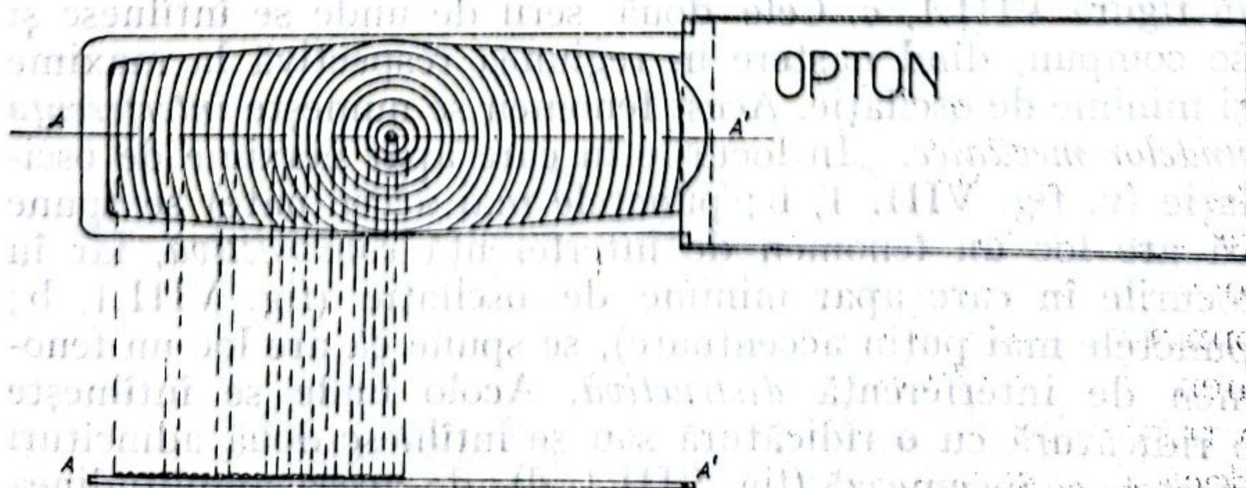


Fig. VII.4

Capitolul VIII

ÎN CARE SE VORBEŞTE DESPRE STRATURI, SUBŢIRI ÎN GENERAL ŞI ÎN PARTICULAR

VIII.1. Cîteva experienţe interesante sau despre interferenţa luminii

Un vas cu apă şi lîngă el un stativ care susţine o lamă elastică prevăzută la extremitatea liberă cu un ac (fig. VIII.1 a). În vas se introduce un ecran, *E*, în care s-au practicat două deschideri circulare ale căror centre trebuie să se găsească la nivelul suprafeţei libere a apei. Deschiderile *a* şi *b* sînt mici şi apropiate între ele, iar vîrful acului este foarte aproape de suprafaţa liberă a apei. Se scoate lama din poziţia de echilibru şi se lasă liberă. Aceasta va oscila, iar vîrful acului va înţepa periodic suprafaţa apei, în primul compartiment. Se vor forma unde de suprafaţă sub forma unor cercuri concentrice centrate pe punctul în care a fost înţepată suprafaţa. Sînt unde similare cu acelea care se produc pe suprafaţa liniştită a unui lac în care s-a aruncat o piatră.

Întîlnind ecranul, din dreptul deschiderilor se propagă unde circulare concentrice, avînd centrul în dreptul deschiderilor, ca şi cum acolo ar fi fost înţepată suprafaţa apei (fig. VIII.1, b). Dacă fiecare din aceste unde ar fi secţionată cu un plan normal la suprafaţa apei, trecînd prin *a* sau *b* şi le-am privi în perspectivă, am observa ceea ce se vede în figura VIII.1, c. Cele două serii de unde se întîlnesc şi se compun, dînd naştere în regiunea respectivă la maxime şi minime de oscilaţie. Acest fenomen se numeşte *interferenţa undelor mecanice*. În locurile în care apar maxime de oscilaţie (v. fig. VIII. 1, b; punctele mai accentuate) se spune că are loc un fenomen de interferenţă *constructivă*, iar în locurile în care apar minime de oscilaţie (fig. VIII.1, b; punctele mai puţin accentuate), se spune că are loc un fenomen de interferenţă *distructivă*. Acolo unde se întîlneşte o ridicătură cu o ridicătură sau se întîlnesc două adîncituri efectele se însumează (fig. VIII.1, d); de aceea amplitudinea de oscilaţie este maximă. Acolo, însă, unde se întîlneşte

o ridicătură cu o adîncitură amplitudinea este nulă, efectele celor două unde se anihilează reciproc, iar apa se află în repaus (fig. VIII. 1, e). Pentru ca fenomenul de interferență să se producă și să se observe, trebuie ca undele ce interferă să fie *coerente*, adică să provină de la surse care oscilează cu o diferență de fază constantă în timp; între undele care interferă să existe, pînă la locul considerat din cîmpul de interferență, o diferență de drum, iar undele să aibă aceeași

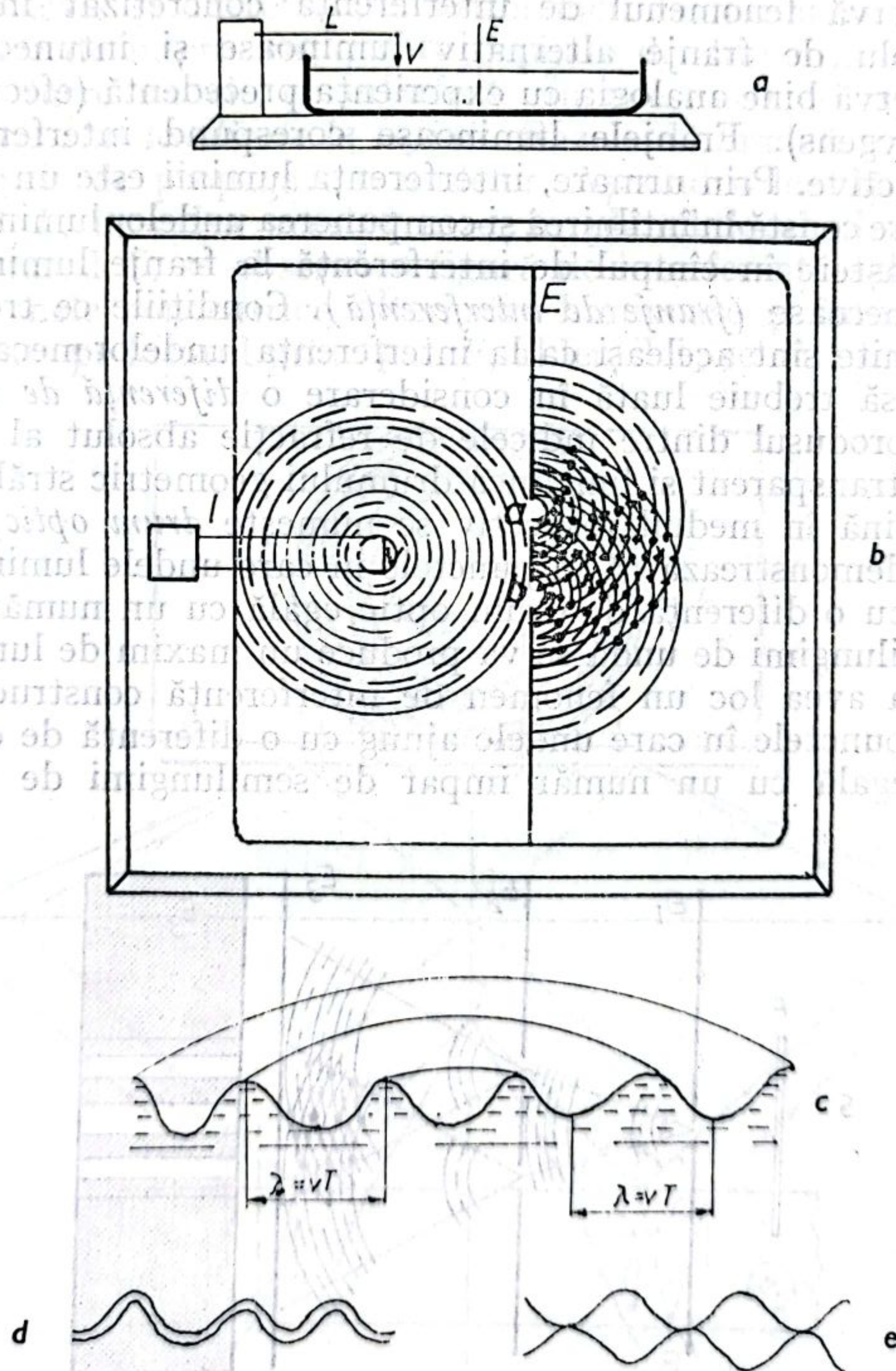


Fig VIII.1 a, b, c, d, e,

frecvență. Acestea sînt condițiile importante care trebuie îndeplinite.

O experiență oarecum similară a făcut fizicianul englez Young în anul 1802. Schema experienței este dată în figura VIII.2. O sursă de lumină S în fața căreia se află un filtru optic F, (o sticlă colorată) pentru a se lucra cu lumină monocromatică, (de o singură culoare, adică o singură lungime de undă) și trei ecrane: E_1 prevăzut cu o singură deschidere, al doilea, E_2, cu două deschideri mici și apropiate și E_3 pe care se observă fenomenul de interferență concretizat într-un ansamblu de franje alternativ luminoase și întunecoase. Se observă bine analogia cu experiența precedentă (efectuată de Huygens). Franjele luminoase corespund interferenței constructive. Prin urmare, interferența luminii este un fenomen care constă în întîlnirea și compunerea undelor luminoase, dînd naștere în cîmpul de interferență la franje luminoase și întunecoase *(franje de interferență)*. Condițiile ce trebuie îndeplinite sînt aceleași ca la interferența undelor mecanice. Aici însă trebuie luată în considerare o *diferență de drum optic* (produsul dintre indicele de refracție absolut al unui mediu transparent și lungimea drumului geometric străbătut de lumină în mediul respectiv se numește *drum optic)*.

Se demonstrează că în punctele în care undele luminoase ajung cu o diferență de drum optic egală cu un număr par de semilungimi de undă se va produce un maxim de lumină, deci va avea loc un fenomen de interferență constructivă, iar în punctele în care undele ajung cu o diferență de drum optic egală cu un număr impar de semilungimi de undă

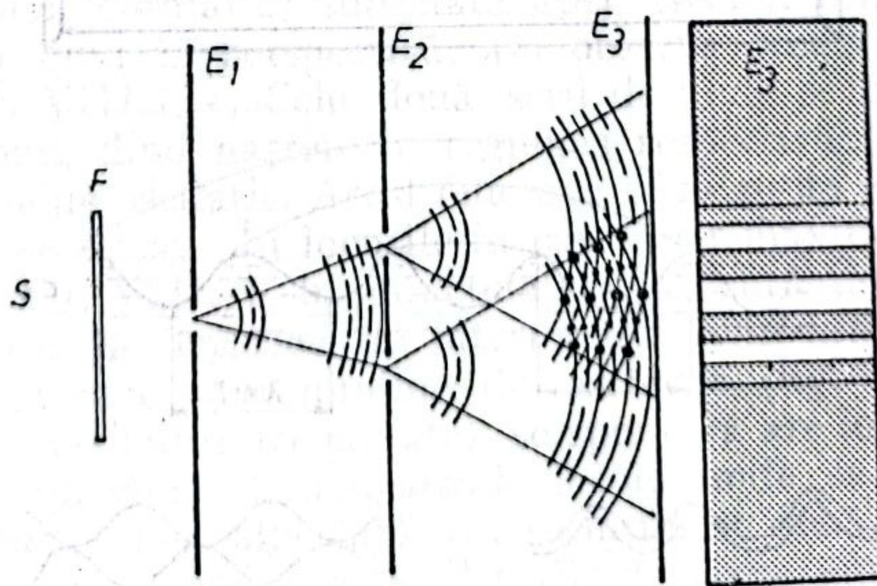


Fig. VIII.2

se va produce un minim de lumină, adică în punctele respective va avea loc o interferenţă distructivă.

VIII.2. Ce sînt straturile subţiri?

Să ne imaginăm acum următoarea experienţă: o sursă întinsă de lumină şi o lamă cu feţe plane şi paralele, transparentă (figura VIII.3). De la sursa *I*, se propagă un fascicul de lumină şi întîlnind lama se produc simultan fenomene de reflexie şi de refracţie, astfel încît la infinit se produce o stare de interferenţă, care depinde de diferenţa de drum optic între undele ce interferă. În acest caz, se spune că *franjele sînt localizate la infinit*. Razele de lumină reprezintă direcţiile de propagare a undelor. Aşezînd o lentilă convergentă *L*, în calea acestor raze, în planul focal al acesteia, pe ecranul *E*, se observă o figură de interferenţă sub forma unor inele concentrice alternativ luminoase şi întunecoase, centrate pe focarul principal, *F*, al lentilei; se numesc *inelele*

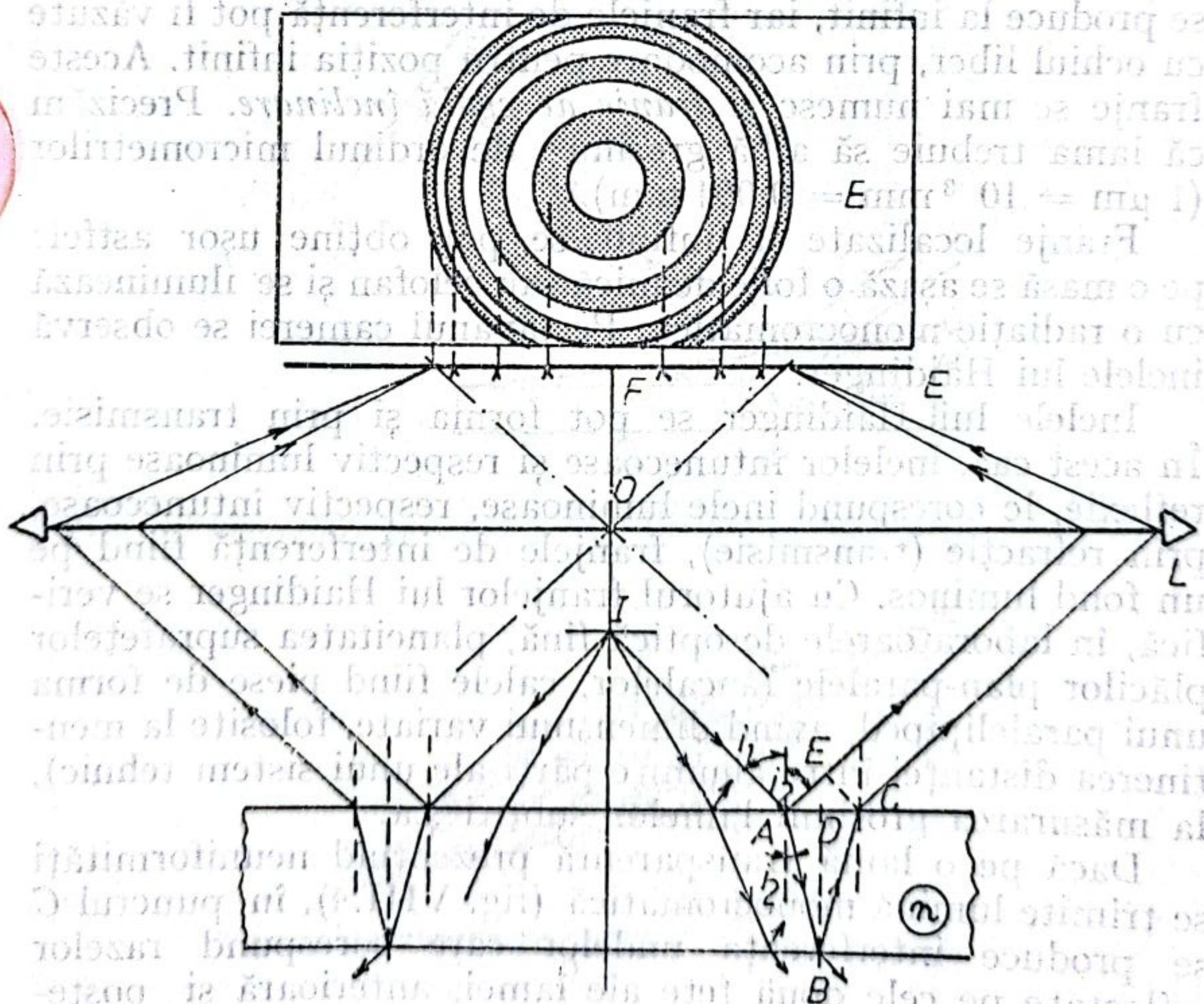


Fig. VIII.3

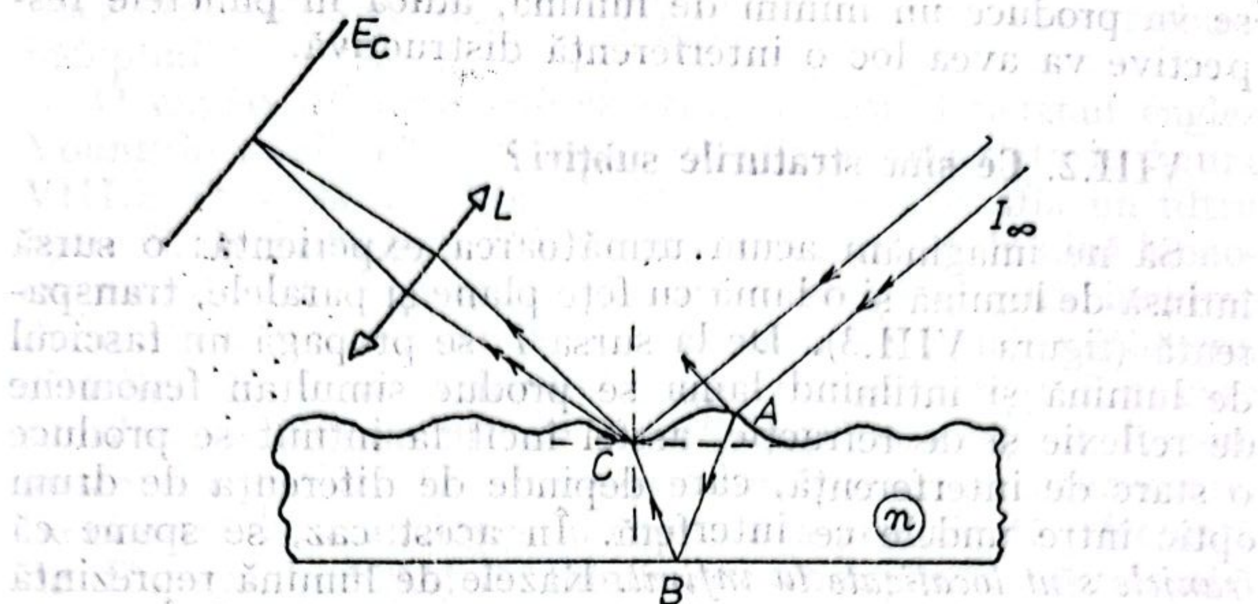


Fig. VIII.4

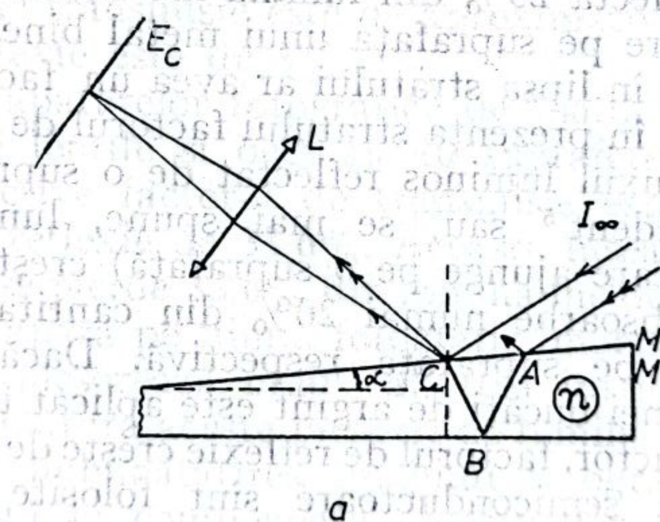
lui Haidinger (observate prima dată de el, în 1819, la lame subțiri de mică și studiate în 1884 de către Lummer). Sînt inele formate prin reflexie. În lipsa lentilei, interferența se produce la infinit, iar franjele de interferență pot fi văzute cu ochiul liber, prin acomodare pentru poziția infinit. Aceste franje se mai numesc și *franje de egală înclinare*. Precizăm că lama trebuie să aibă grosimea de ordinul micrometrilor ($1\ \mu m = 10^{-3}$ mm $= 0{,}001$ mm).

Franje localizate la infinit se pot obține ușor astfel: pe o masă se așază o folie de mică sau celofan și se iluminează cu o radiație monocromatică. Pe tavanul camerei se observă inelele lui Haidinger.

Inelele lui Haidinger se pot forma și prin transmisie. În acest caz, inelelor întunecoase și respectiv luminoase prin reflexie, le corespund inele luminoase, respectiv întunecoase, prin refracție (transmisie), franjele de interferență fiind pe un fond luminos. Cu ajutorul franjelor lui Haidinger se verifică, în laboratoarele de optică fină, planeitatea suprafețelor plăcilor plan-paralele (a calelor, calele fiind piese de forma unui paralelipiped, avînd dimensiuni variate, folosite la menținerea distanței între anumite părți ale unui sistem tehnic), la măsurarea grosimii lamelor subțiri ș.a.

Dacă pe o lamă transparentă prezentînd neuniformități se trimite lumină monocromatică (fig. VIII.4), în punctul C se produce interferența undelor care corespund razelor reflectate pe cele două fețe ale lamei, anterioară și posterioară. În cazul că lama este omogenă din punct de vedere

optic, în punctul C diferența de drum optic va depinde de grosimea locală a lamei. Lama avînd grosime variabilă, în lumina monocromatică se vor observa pe lamă franje alternativ luminoase și întunecoase care unesc punctele în care lama are aceeași grosime, și se numesc *franje de egală grosime*. În lumina albă, de exemplu, lumina difuză a zilei, pe o peliculă foarte subțire se observă franje de egală grosime, colorate în culorile spectrale și cu forme variate. Ochiul trebuie acomodat pe fața anterioară a lamei. Folosind o lentilă, L, se poate obține imaginea franjelor pe un ecran, E. Dacă lama are forma unei pene (figura VIII.5 a, b) atunci franjele iau forma unor benzi paralele cu muchia MM' a penei. Cu cît unghiul, α, dintre fețele lamei este mai mic cu atît franjele sînt mai distanțate; dacă unghiul este mare franjele sînt foarte apropiate și nu se mai disting decît foarte greu. Dacă grosimea penei este mare, de ordinul zecimilor de micrometru, franjele nu se mai observă decît în lumina monocromatică.



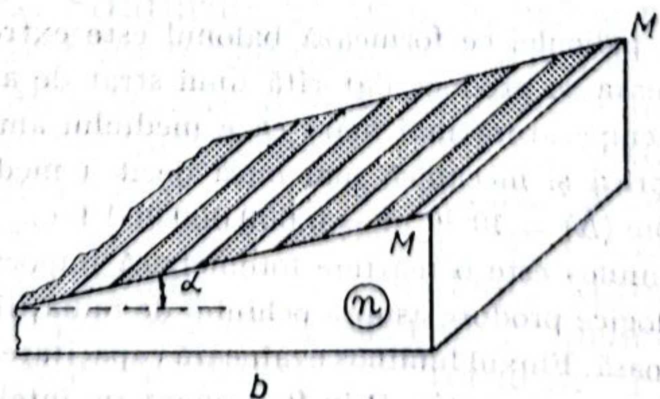


Fig. VIII.5 a,b,

Interferența luminii pe lame subțiri (pelicule) explică o serie de fenomene, observate în fiecare zi, cum sînt colorațiile petelor de petrol sau de ulei de pe suprafața apei, jocul de colorații de pe baloanele de săpun [1], de pe aripile unor insecte [2], colorațiile de pe piesele de oțel [3] în timpul călirii lor, colorațiile de pe suprafața sticlelor vechi, irizările sidefului ș.a.

VIII.3. Straturi antireflex?

Interferența pe lame subțiri stă la baza unui nou capitol al opticii denumit *optica albastră* sau *optica straturilor subțiri*. Straturile subțiri pot fi din substanțe izolante, semiconductoare sau metalice și au grosimi cuprinse între valori de ordinul ångströmilor [4] și valori de ordinul micrometrilor. Straturile subțiri din substanțe izolante sînt transparente permițînd să treacă cea mai mare parte din lumină, în timp ce straturile semiconductoare reflectă și absorb puțină lumină, îndeplinind funcții multiple.

Un strat subțire de semiconductor, dacă este luat izolat, atunci el reflectă 20% din lumina incidentă. Dacă se aplică stratul subțire pe suprafața unui metal bine șlefuit, atunci aceasta, care în lipsa stratului ar avea un factor de reflexie de 50—60%, în prezența stratului factorul de reflexie (raportul dintre fluxul luminos reflectat de o suprafață și fluxul luminos incident [5] sau, se mai spune, lumina reflectată din lumina care ajunge pe o suprafață) crește pînă la 80% și deci se absoarbe numai 20% din cantitatea de lumină care ajunge pe suprafața respectivă. Dacă pe suprafața lustruită a unei bucăți de argint este aplicat un strat subțire de semiconductor, factorul de reflexie crește de la 90% la 96%.

Straturile semiconductoare sînt folosite și ca oglinzi acolo unde este necesară reflexie parțială și refracție parțială.

---

[1] Grosimea peliculei ce formează balonul este extrem de mică.

[2,3] Interferența se produce datorită unui strat de aer extrem de fin adiacent și cu temperatură mai mare ca a mediului ambiant. Acest strat are densitate optică și mecanică mai mică decît a mediului ambiant.

[4] 1 ångström (Å) = 10^{-10} m = 0,000 000 000 1 m.

[5] Fluxul luminos este o mărime fotometrică importantă și este legat de efectele fiziologice produse asupra ochiului de radiațiile luminoase emise de o sursă luminoasă. Fluxul luminos evaluează capacitatea ochiului omenesc de a percepe un flux energetic. Prin flux energetic înțelegîndu-se raportul dintre energia radiantă care străbate o suprafață și timpul corespunzător.

De pildă, o oglindă de telur reflectă 18% din lumina incidentă, transmite 81% și absoarbe 1%. Astfel de oglinzi din substanțe semiconductoare se folosesc în construcția unor aparate fotografice, a unor telemetre, a unor fotometre, a unor interferometre, sau în unele experiențe de interferometrie sau, încă, în unele experiențe de interferență a luminii, în televiziunea în culori ș.a. În fine, straturile subțiri metalice reflectă lumina, dar în același timp absorb multă lumină, în comparație cu straturile semiconductoare sau izolante.

În cazul unei lame de sticlă înspre care se trimite lumină sub incidență normală, factorul de reflexie are valori între 3,5% și 8% în funcție de varietatea sticlei. În cazul sticlei de crown factorul de reflexie este de 4%, iar factorul de transmisie este 96%, adică o astfel de lamă transmite 96% din lumina incidentă și reflectă 4%. În ambele cazuri se consideră o singură suprafață reflectantă.

Să presupunem acum o lentilă din crown; aceasta are două suprafețe reflectante. Considerînd absorbția în sticlă nulă, factorul de transmisie este de aproximativ 92% și deci factorul de reflexie este de 8%.

Obiectivele aparatelor fotografice de înaltă calitate sînt alcătuite din 5 lentile și deci au 10 suprafețe reflectante. La aceste obiective factorul de transmisie este de 66,4%, iar factorul de reflexie de 33,6%. Aceasta înseamnă că prin cele 10 reflexii se pierde 33,6% din lumina incidentă. Această lumină face să apară pe filmul fotografic imagini parazitare care, evident, micșorează mult calitatea imaginii propriu-zise. Pentru a înlătura aceste pierderi de lumină prin reflexie și deci pentru îmbunătățirea imaginii fotografice, piesele optice care intră în componența obiectivelor — lentilele — se acoperă cu straturi subțiri *antireflectante* denumite curent *straturi antireflex*. Straturile subțiri se aplică și pe obiectivele lunetelor și aparatelor fotografice; din această cauză acestea au o colorație albastră, respectiv violet deschis.

Să presupunem că pe o lamă de sticlă a fost depus un strat subțire dintr-un izolant. Fața anterioară a stratului este în contact cu aerul, iar fața posterioară în contact cu sticla. O rază de lumină ajungînd sub incidență aproape normală (perpendiculară) pe suprafața stratului (peliculei) se vor produce fenomenele de reflexie și refracție, în punctul *A* respectiv *B*, luînd naștere razele *2* și *3* (fig. VIII.6). Undele corespunzătoare acestor raze sînt coerente deoarece provin din unda incidentă *1*. În cazul că aceste unde au intensități

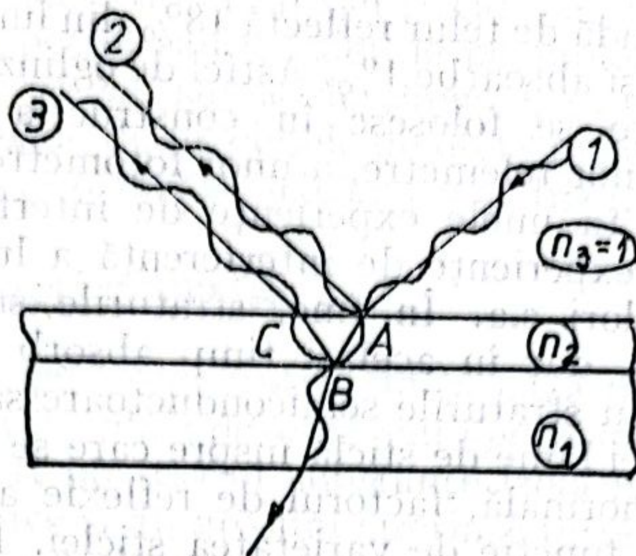


Fig. VIII.6

egale ($I_2 = I_3$) atunci, dacă între cele două unde care interferă există o diferență de drum optic egală cu o jumătate de lungime de undă (a luminii), undele respective, *2* și *3*, se anihilează reciproc, adică se produce fenomenul de interferență distructivă. În aceste condiții minimul de interferență este zero. Folosind lumina albă, în lumina reflectată, radiația cu lungimea de undă care dă minimul de interferență zero va lipsi. Dacă această lungime de undă are valoarea 55,9 nm (1 nm = 0,000 000 001 m), ceea ce corespunde radiației galben-verde din spectrul luminii albe și pentru care ochiul are sensibilitatea maximă, în lumina reflectată, conform celor spuse mai sus, această radiație va lipsi. De aceea culoarea luminii reflectate este purpurie. Pentru o anumită lungime de undă, lumina reflectată are culoare albastră. Așa se explică culoarea violet-deschis a obiectivelor aparatelor fotografice și culoarea albastră a obiectivelor lunetelor.

Pentru ca din lumina reflectată să lipsească radiația de o anumită lungime de undă, între indicii de refracție absoluți ai lamei de sticlă și a stratului subțire trebuie să existe o anumită relație cu ajutorul căreia, luîndu-se în considerare faptul că indicele de refracție absolut al sticlelor optice este cuprins între valorile 1,50 și 1,80, se calculează indicele de refracție absolut al substanței peliculei obținîndu-se valorile: 1,22—1,35. Înseamnă că pentru depunere trebuie să se folosească acele substanțe al căror indice de refracție absolut este cuprins între valorile date mai sus (1,22—1,35).

Aceste substanțe sînt puține la număr și de aceea se mai folosesc și unele substanțe al căror indice de refracție

absolut este apropiat, ca valoare, față de valorile date aici. Cel mai adesea sînt folosite substanțele: *fluorura de calciu,* al cărei indice de refracție absolut este cuprins între 1,23 și 1,28; *criolitul* cu indicele de refracție absolut cuprins între 1,30 și 1,31; *fluorura de litiu* cu indicele de refracție absolut cuprins între 1,36 și 1,37; *fluorura de aluminiu* cu indicele de refracție absolut cuprins între 1,38 și 1,39 și *fluorura de magneziu* cu indicele de refracție absolut cuprins între 1,38 și 1,40.

Grosimea G a stratului care trebuie depus pe piesele optice se obține din următoarea relație:

$$G = \frac{\text{lungimea de undă a radiației ce trebuie eliminată din lumina reflectată}}{\text{de patru ori indicele de refracție absolut al substanței depuse}}$$

Suprafața sticlei neacoperite are un factor de reflexie mai mare decît atunci cînd este acoperită cu un strat subțire cu grosimea de ordinul unui sfert din lungimea de undă a radiației care trebuie să lipsească din lumina reflectată.

Să considerăm acum o lamă de sticlă cu fețe plane și paralele, pe ale cărei fețe a fost depus cîte un strat subțire din una dintre substanțele enumerate mai sus (figura VIII.7). Experiența arată că pentru o radiație de o anumită lungime de undă, reflexia este nulă și întregul flux luminos se regăsește la ieșirea din piesa optică (se consideră absorbția,

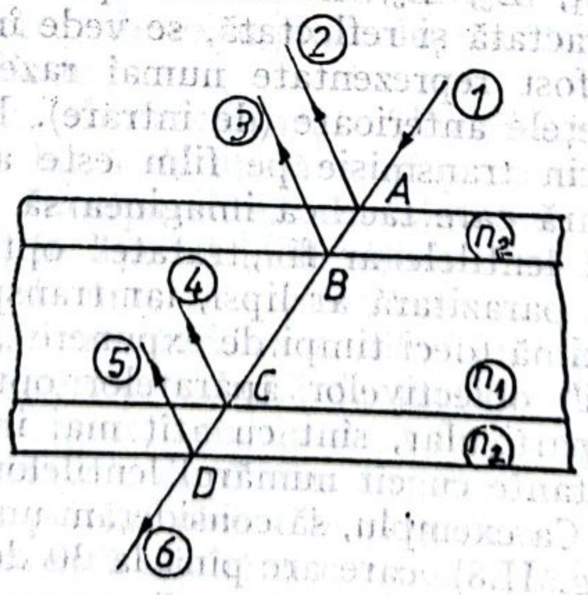


Fig. VIII.7

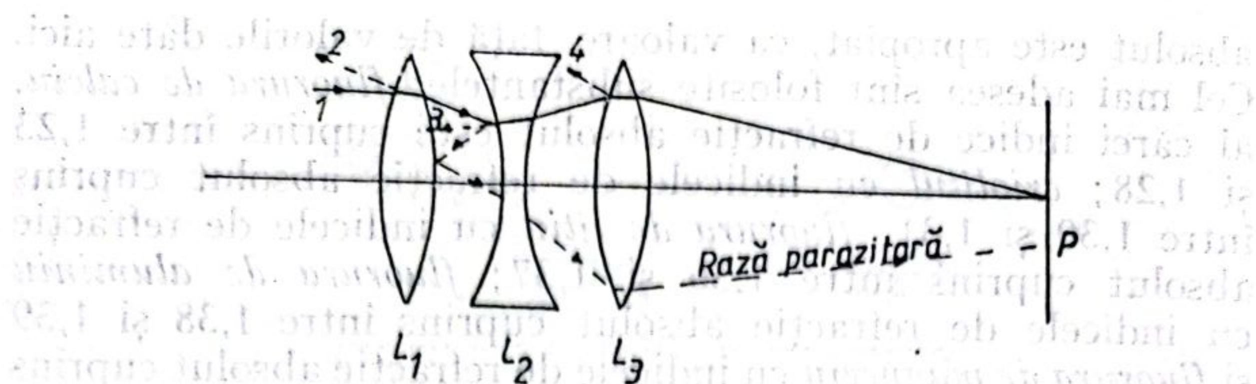


Fig. VIII.8

în material, nulă). Este imposibil de anulat reflexia pentru toate radiaţiile din spectru, în acelaşi timp. Despre lama de sticlă acoperită cu cîte un strat din aceeaşi substanţă se spune că este „tratată" optic. Lama de sticlă şi, prin extensie, piesele optice tratate ca mai sus, prezintă transparenţă maximă. Să dăm un exemplu în acest sens. Să presupunem că o lentilă este „tratată" folosindu-se fluorura de magneziu. Dacă indicele de refracţie absolut al sticlei din care este confecţionată lentila este 1,52, iar grosimea stratului aşa fel încît să satisfacă relaţia dată mai sus pentru o lungime de undă de 555 nm, atunci lumina reflectată de ambele feţe ale lentilei este de 4 ori mai slabă decît în lipsa acestor straturi.

Un efect mult mai bun se obţine dacă în loc de cîte un strat se depun cîte două straturi; aşa se procedează practic.

Să considerăm acum un obiectiv fotografic format din trei lentile, L_1, L_2, L_3, netratate optic. Mersul razelor de lumină, refractată şi reflectată, se vede în figura VIII.8. Pe figură au fost reprezentate numai razele refractate şi reflectate pe feţele anterioare (de intrare). Raza de lumină care ajunge prin transmisie pe film este acompaniată de o rază parazitară care face ca imaginea să nu fie suficient de clară. Dacă lentilele ar fi „tratate" optic, ca mai sus, această lumină parazitară ar lipsi, iar transparenţa obiectivului ar fi maximă (deci timpi de expunere „scurţi"). Rezultatele „tratării" obiectivelor aparatelor optice în general, fotografice în particular, sînt cu atît mai interesante şi cu atît mai importante cu cît numărul lentilelor ce-l alcătuiesc este mai mare. Ca exemplu, să considerăm un periscop marin (de exemplu fig. II.8), care are pînă la 30 de suprafeţe aer-sticlă. Dacă aceste suprafeţe nu ar fi „tratate" optic, atunci

80% din lumina incidentă s-ar pierde prin reflexie pe aceste suprafețe. Ne dăm seama, de aici, de importanța și interesul deosebit pentru straturile subțiri.

Dacă se acoperă suprafețele unei piese optice cu cîte două sau trei straturi atunci se anulează reflexia a două, respectiv trei lungimi de undă. De exemplu, să presupunem un sistem optic ale cărui piese optice au 8 suprafețe aer-sticlă netratate. Un astfel de sistem va transmite numai 32% din fluxul luminos incident care, evident, va reveni imaginii. De exemplu, cazul unui obiectiv fotografic cu 4 lentile; pe film ar ajunge 32% din fluxul luminos incident. După tratarea pieselor lui optice, pe film ar ajunge 98% din lumina incidentă pe obiectiv.

VIII.4. Să facem cunoștință cu filtrele interferențiale

Dacă pe o lamă de sticlă se depune un strat subțire metalic, sistemul obținut poate să anuleze reflexia unei radiații din spectru, de exemplu radiația galbenă, și să reflecte toate celelalte radiații. Dacă, însă, se combină straturi metalice foarte subțiri (aceste straturi reflectă parțial și transmit parțial lumina, dar mai mult reflectă decît transmit) cu straturi subțiri transparente, se realizează un sistem care reflectă o anumită lungime de undă și anulează reflexia tuturor celorlalte radiații. Adică se realizează un fenomen invers celui descris pînă aici. Un astfel de sistem optic constituie un *filtru interferențial prin reflexie*. Iluminînd cu lumină albă un astfel de filtru, acesta nu reflectă decît o anumită culoare din spectru, de exemplu culoarea verde, toate celelalte culori anulîndu-le.

S-au realizat, de asemenea, *filtre interferențiale prin transmisie*. Pe o lamă de sticlă se depune un ansamblu de straturi subțiri transparente, alternînd cu straturi foarte subțiri metalice, în așa fel încît sistemul să absoarbă toate culorile în afară de una, care este lăsată să treacă. Sistemul confecționat constituie un *filtru de interferență prin transmisie*. Un exemplu concret: pe o lamă de sticlă se depune un strat foarte subțire de argint, apoi un strat foarte subțire de semiconductor transparent, după care urmează din nou un strat de argint. Dacă privim obiectele printr-un astfel de dispozitiv, care în aparență seamănă cu o oglindă, ele apar într-o frumoasă culoare verde, asemănătoare cu a smaraldului.

Unda luminoasă cu o anumită lungime de undă, întîlnind acest dispozitiv, este reflectată de straturile de argint. Această undă reflectată este în fază cu unda luminoasă incidentă și dă naștere la un fenomen de interferență constructivă. Alte radiații, cu lungimi de undă diferite de aceea menționată aici, sînt complet reflectate. Se obține astfel, prin transmisie, lumină monocromatică. Din această lumină monocromatică trece prin filtru doar 20—55%. Astfel de filtre sînt transparente numai pentru o porțiune foarte mică din spectru și anume pentru o zonă cuprinsă între 5,0—20,0 nm. De aceea, se spune că un astfel de filtru este foarte „monocromatic". Dar tot după acest procedeu se pot obține filtre care să fie transparente pentru o zonă întinsă din spectru. Totul depinde de cerințe, adică de utilizările filtrului. Astfel de filtre sînt incomparabil mai bune decît filtrele de sticlă colorată.

VIII.5. Filtre anticalorice? La ce folosesc?

Filtrele interferențiale (descrise mai sus) nu sînt folosite numai în domeniul vizibil al spectrului, ci și în alte domenii spectrale. De exemplu, se construiesc filtre interferențiale pentru domeniile infraroșu și ultraviolet, ale spectrului. De pildă, s-au realizat filtre care reflectă radiațiile infraroșii, fiind transparente numai pentru radiații din domeniul vizibil al spectrului. Acestea sînt *filtre anticalorice*. [1] Cu ajutorul lor se pot ilumina obiecte fără a fi încălzite.

VIII.6. Oglinzi reci?

S-au construit filtre care reflectă perfect radiațiile din domeniul vizibil al spectrului și transmit numai radiațiile infraroșii. Acestea sînt așa-numitele „oglinzi reci" sau „oglinzi cu lumină rece". Astfel de „oglinzi reci" sînt folosite în aparatele de proiecție de înaltă tehnicitate, unde eliminarea căldurii constitue o problemă foarte importantă. De aceea, se consideră că cinematografia modernă ar fi greu de conceput fără ajutorul acestor „oglinzi reci". În general „oglinzile reci" se folosesc în scopul realizării unei mari concentrări

---

[1] Problema filtrelor anticalorice este cercetată, obținîndu-se rezultate importante, în cadrul Institutului de cercetări și proiectări tehnologii pentru sticlă și ceramică fină, București.

de lumină, dar fără concentrare, în același timp, de căldură. Astfel de „oglinzi reci" se mai folosesc, de exemplu, în sălile de operații chirurgicale, în construcția unor laseri ș.a.

VIII.7. Cum se obțin straturile subțiri?

Desigur că cititorii și-au pus această întrebare. De aceea vom spune cîteva cuvinte și despre instalația și procedeul folosit pentru depuneri de astfel de straturi subțiri pe piese optice. Cel mai utilizat procedeu de obținere a straturilor subțiri (pelicule) este acela al evaporării în vid.

Instalația folosită este arătată în figura VIII.9a,b. Așa cum se observă, ea constă dintr-un dulap pe care se află un platou de metal, *M*, prevăzut cu o garnitură de cauciuc natural, *Cn*, peste care se așază clopotul *C*, care este confecționat din sticlă ori metal. În centrul platoului circular se află un orificiu în care este montată o țeavă, *T*, ce face legătura între incintă și o pompă de vid, care, pentru a nu încărca desenul, nu a fost reprezentată. Piesa optică pe care trebuie să fie depusă pelicula se așază pe suportul *S* (fig. VIII.9a), iar

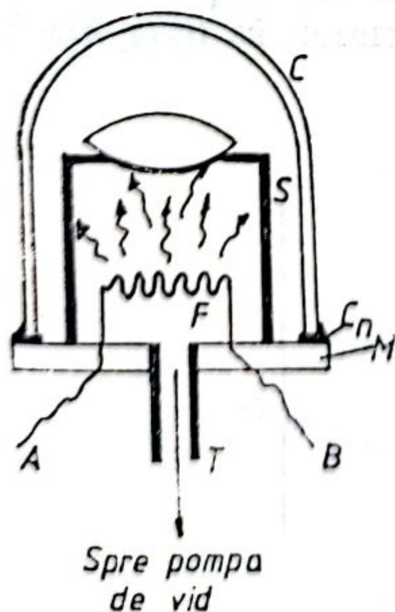




Fig. VIII.9 a, b,

substanța care trebuie depusă și care, evident, trebuie mai întîi evaporată, este plasată în contact cu un filament metalic, *F*, care poate fi conectat într-un circuit exterior al unui generator electric cu ajutorul firelor *A* și *B* (generatorul nu a fost reprezentat pe figură). Presiunea în interiorul incintei trebuie să fie sub 0,000 001 mm col. Hg. (torr), obținîndu-se presiuni de lucru de ordinul 0,000 000 000 001 torri.

Cum funcționează instalația? Se închide circuitul filamentului. Acesta încălzindu-se, se încălzește și substanța aflată în contact cu el; cînd temperatura substanței a atins punctul de fuziune, aceasta se vaporizează. Vaporii se răspîndesc pretutindeni în interiorul incintei și se vor depune pe suprafața piesei optice așezată pe suportul *S* (pe figură o lentilă biconvexă). Evident, temperatura de fuziune a substanței care se depune este inferioară temperaturii de fuziune a filamentului. Un alt aparat care face parte din instalație (nu la toate) indică permanent grosimea peliculei depuse și întrerupe automat funcționarea instalației, și deci depunerea, atunci cînd grosimea peliculei a atins valoarea dorită. Grosimea peliculei depuse se mai poate controla și cu ajutorul duratei evaporării substanței care se depune.

Metoda obținerii de pelicule, descrisă mai sus, este folosită și pentru depunerea mai multor pelicule, fiecare peliculă avînd un anumit indice de refracție absolut și o anumită grosime, deci o anumită funcțiune.

ÎN CARE SE ARATĂ CUM S-A AJUNS LA „CARTEA DE VIZITĂ" A SUBSTANŢELOR

IX.1. Newton experimentează ...

Într-un articol publicat în anul 1672, Newton descrie experienţele sale privind descompunerea luminii. Iată ce scrie, între altele:

„În anul 1666 (pe cînd mă ocupam cu şlefuirea lentilelor de altă formă decît cea sferică) mi-am procurat o prismă triunghiulară de sticlă pentru a studia cu ea celebrele fenomene ale culorilor. În acest scop am întunecat camera şi am făcut în obloanele ei, pentru a lăsa să intre razele solare, o mică deschidere circulară, în faţa căreia am aşezat o prismă în aşa fel că lumina se refracta pe peretele opus (fig. IX.1). La început era o adevărată distracţie să privesc lumina vie şi intensă a culorilor produse acolo, dar după un răstimp, observînd-o cu mai mare atenţie, am fost surprins să o văd sub forma unui dreptunghi lunguieţ deşi, potrivit legilor refracţiei, mă aşteptam, ca imaginea de pe perete să aibă o formă circulară. Pe laturile lungi culorile erau mărginite de linii drepte, iar la capete lumina scădea pe încetul, astfel că era greu să determini forma imaginii, totuşi părea că aici

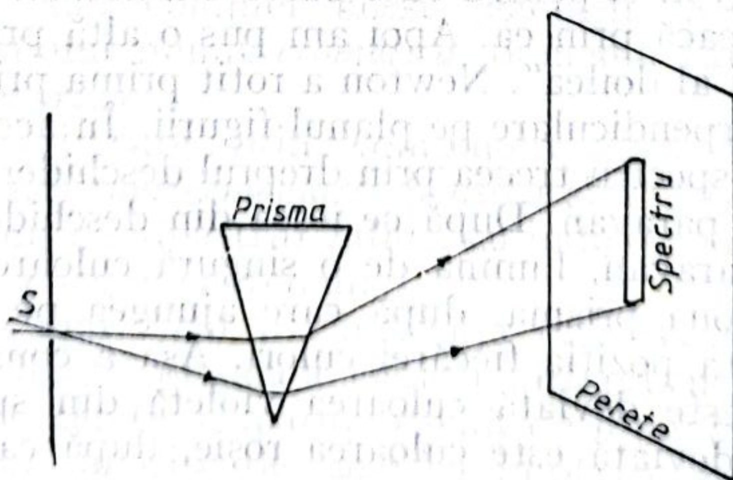


Fig. IX.1

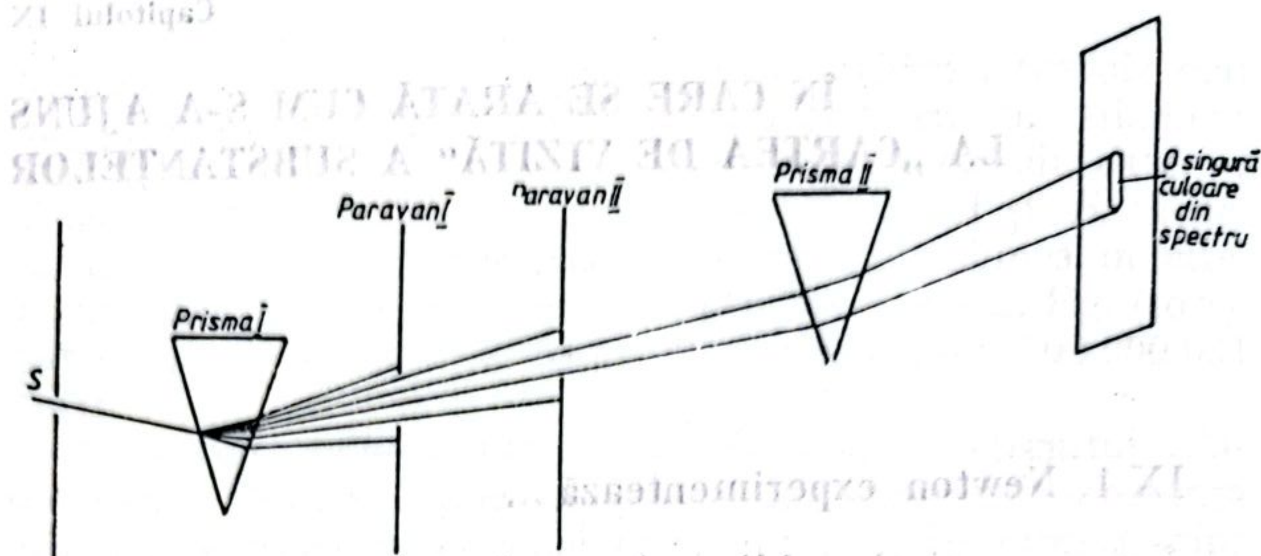


Fig. IX.2

ea are forma unui semicerc. Comparînd lungimea și lățimea acestui spectru colorat am constatat că lungimea este de cinci ori mai mare, disproporție atît de exagerată încît îmi ațîță o curiozitate neobișnuită să aflu de unde poate proveni".

Din această experiență Newton nu a putut trage toate concluziile și de aceea el o reface, modificînd mereu cîte ceva. Pentru a explica disproporția dintre lungimea spectrului și lățimea sa, el emite diverse ipoteze care însă au fost contrazise de experiențe. Toate aceste experiențe au durat cinci ani, după care face o experiență crucială pe care o descrie astfel: „Am luat două paravane și am așezat unul din ele imediat înapoia prismei de la fereastră (fig. IX.2), astfel ca lumina să treacă printr-o mică deschidere făcută în el în acest scop și să cadă pe celălalt paravan pe care l-am așezat la o distanță de aproape 12 picioare [1], făcînd mai întîi o mică deschidere și în el pentru ca o parte din această lumină incidentă să treacă prin ea. Apoi am pus o altă prismă înapoia paravanului al doilea". Newton a rotit prima prismă în jurul unei axe perpendiculare pe planul figurii. În acest fel fiecare culoare din spectru trecea prin dreptul deschiderii din primul și al doilea paravan. După ce ieșea din deschiderea celui de al doilea paravan, lumina de o singură culoare trecea prin cea de-a doua prismă, după care ajungea pe perete unde Newton nota poziția fiecărei culori. Așa a constatat că cel mai mult este deviată culoarea violetă din spectru și cel mai puțin deviată este culoarea roșie, după care conchide:

[1] 1 picior = 30,5 cm.

„Şi astfel am aflat că adevărata cauză a lungimii acestor imagini nu e alta decît că lumina nu este asemenea sau omogenă, ci constă din raze diferite, dintre care unele deviază mai mult decît altele".

Experienţele lui Newton au evidenţiat că lumina albă este alcătuită dintr-o infinitate de culori care sînt deviate diferit de către prisma de sticlă. Se consideră însă şapte culori care ar alcătui lumina albă, deoarece acestea se observă cel mai uşor. Ordinea lor este: *roşu* (R), *portocaliu (oranj)* (O), *galben* (G), *verde* (V), *albastru* (A), *indigo* (I) şi *violet* (V). Iniţialele dau ROGVAIV. Descoperirea lui Newton a dat naştere la polemici aprinse, mai ales constatarea raportului existent dintre lungimea şi lăţimea spectrului obţinut. Un filozof din Liège, pe nume Lucas, a refăcut experienţele lui Newton, găsind că raportul dintre lungimea spectrului şi lăţimea sa este de 3,5, în timp ce Newton găsise pentru acest raport valoarea 5. Ne dăm seama că în aceste condiţii nimeni nu a fost convingător, cu toate că amîndoi aveau dreptate. Rezultatele diferite obţinute s-au datorat faptului că au folosit prisme de calităţi diferite şi avînd alt unghi *A* (v. fig. II.4).

Astăzi spunem că atunci cînd lumina albă pătrunde într-o prismă se produc simultan două fenomene, de refracţie şi de dispersie, adică de descompunere în radiaţiile componente. Şi, fiindcă diferitelor culori (radiaţii) din spectrul luminii albe le corespund diferite frecvenţe, deci diferite lungimi de undă, prin dispersia luminii vom înţelege fenomenul de dependenţă a indicelui de refracţie al unui mediu transparent (substanţa din care este confecţionată prisma) de lungimea de undă a radiaţiei luminoase.

Cercetînd mai complet acest fenomen, Newton pune bazele domeniului numit *cromatică*, domeniu care se ocupă cu *studiul culorilor*.

Două culori care prin compunere dau lumina albă se numesc *culori complementare*. Acestea sînt: roşu cu verde-albăstrui, oranj cu albastru, galben cu indigo, verde cu roşu-oranj, violet cu galben-verzui.

Newton a mai făcut o experienţă interesantă: în calea radiaţiilor ce ies din prismă a aşezat o altă prismă, dar invers ca poziţie. Pe perete a apărut o pată de lumină albă. Apoi a confecţionat un disc pe care l-a împărţit în 7 sectoare egale, fiecare vopsit cu o culoare aparţinînd spectrului vizibil al luminii albe. Punînd discul în mişcare de rotaţie a observat

că acesta apare colorat în alb. Experiența se mai face și azi prin școli, iar discul poartă numele lui Newton.

IX.2. ... și Fraunhofer se accidentează

Fraunhofer era ucenic șlefuitor într-o fabrică de oglinzi din Bavaria. Într-una din zile o mare oglindă din cristal se sparge în timpul șlefuirii și Fraunhofer se accidentează. Regele Bavariei care comandase oglinda îi oferă o sumă de bani ca despăgubiri morale pentru accidentul suferit, din care el își procură cărți de fizică și începe să studieze cu pasiune. În timpul accidentului, însă, el observase că lumina solară întîlnind cioburile suferea fenomenul de dispersie. După aceste observații și citind lucrările lui Newton și ale altora în domeniul dispersiei luminii, el își confecționează diverse prisme făcînd importante descoperiri în acest domeniu.

Studiind atent spectrul solar, în anul 1814, descoperă că este brăzdat de circa 700 linii negre. Pe cele mai intense le-a notat cu litere de la A la K. Ulterior au fost denumite *linii Fraunhofer*. Astăzi se cunosc 10 000 de linii negre. Aceste linii apar ca urmare a fenomenului de absorbție a radiațiilor emise de fotosferă [1], de către substanțele din cromosferă [2]. Și atmosfera terestră absoarbe o parte din radiațiile care vin de la Soare și deci un număr mic de linii negre se datoresc absorbției în atmosfera Pămîntului *(linii telurice)*. Poziția liniilor Fraunhofer și distribuția lor în spectru permite aflarea elementelor chimice din învelișul exterior al Soarelui.

IX.3. Radiații infraroșii și radiații ultraviolete

Prin anul 1800 Herschel studia încălzirea produsă de fiecare culoare din spectru cu ajutorul unui termometru sensibil. El descoperă cu acest prilej că și dincolo de roșu termo-

---

[1] Fotosfera reprezintă un înveliș al Soarelui, adică stratul lui exterior. Stratul emite lumină, are o grosime de circa 500 km și temperatura de aproximativ 6 000 K.

[2] Cromosfera reprezintă un alt înveliș al Soarelui, este gazos și de culoare roșie. Are o grosime de 10 000 km și este cuprins între fotosferă și coroana solară. Temperatura este de circa 4 500 K la limita inferioară și de cîteva sute de mii de grade la limita superioară.

metrul indică o anumită temperatură, ceea ce înseamnă că și acolo ajung radiații, dar invizibile pentru ochi. Aceste radiații au fost numite *radiații infraroșii* și studiul lor se face cu ajutorul bolometrelor [1], sau prin metode fotografice și fotoelectrice.

S-a studiat, de asemenea, domeniul situat dincolo de violet, mai întîi cu un ecran acoperit cu platino-cianură de bariu și apoi cu ajutorul plăcilor fotografice, constatîndu-se că ecranul devine fluorescent, iar plăcile fotografice sînt impresionate. Așadar, și dincolo de violet există radiații, invizibile pentru ochi. Acestea au fost numite *radiații ultraviolete*.

Radiațiile infraroșii și cele ultraviolete sînt utilizate în diverse domenii de activitate. De pildă, radiațiile infraroșii se folosesc în vopsitoriile moderne pentru uscarea vopselei de pe obiectele proaspăt vopsite, în navigația maritimă pentru depistarea obstacolelor pe timp cețos, în industria alimentară ș.a. Cercetările au dovedit că ghiocelul emite radiații infraroșii sub acțiunea cărora zăpada se topește și astfel el ajunge la suprafața zăpezii. Radiațiile ultraviolete și infraroșii se folosesc, de asemenea, în medicină, și anume în fizioterapie.

IX.4. Culoarea corpurilor

Culoarea reprezintă senzația produsă pe retină de către radiațiile electromagnetice din domeniul vizibil al spectrului, denumite radiații luminoase, domeniu cuprins între lungimile de undă de 700 nm și 400 nm, după reflexia sau transmisia lor de către substanță. De exemplu, un corp care apare roșu reflectă difuz culoarea roșie, absorbind celelalte

---

[1] Bolometrul este un instrument care se folosește pentru măsurarea intensității radiațiilor electromagnetice, mai ales ale radiațiilor din domeniul infraroșu, al spectrului radiațiilor electromagnetice. Funcționarea lui este asemănătoare cu aceea a termometrelor cu rezistență electrică, deoarece și la bolometru baza o constituie dependența rezistenței electrice de temperatură. Bolometrul are, însă, masa foarte mică și de aceea sensibilitatea acestui instrument este foarte mare. Prin aceasta se deosebește de termometrul cu rezistență electrică. În construcția bolometrului piesa de bază o constituie o peliculă metalică sau semiconductoare avînd o rezistență electrică de 10—100 Ω, grosimea peliculei fiind de 1 μm. Această peliculă este montată într-o punte Wheatstone.

culori din spectrul vizibil. Cerneala roșie apare astfel deoarece lasă să treacă radiația roșie, celelalte radiații din spectrul vizibil fiind absorbite. Un corp roșu introdus în cerneală roșie apare roșu strălucitor, în timp ce introdus într-o soluție diferită de roșu apare negru, neavînd ce reflecta. O sticlă albastră apare astfel deoarece lasă să treacă radiația albastră, absorbind celelalte radiații. Așezînd o astfel de sticlă în dreptul spectrului luminii albe, prin ea va trece numai culoarea albastră. Apa lasă să treacă mai ușor radiația roșie, dar reflectă radiațiile albastre și violet. Asta explică, de exemplu, de ce lumina din grota de azur a Insulei Capri este albastră. Culoarea se datorește reflexiei luminii pe suprafața apei, lumină ce pătrunde în grotă prin deschiderea prin care intră bărcile.

La corpurile opace fenomenele de reflexie și de refracție au loc într-un strat extrem de subțire, ceea ce explică de ce metalele trase în foi foarte subțiri lasă să treacă lumina prin ele. Un exemplu, în acest sens, îl constituie aurul. Acest metal nobil se poate trage în foi extrem de subțiri, cu grosimea de ordinul micrometrilor. O astfel de foiță de aur lasă să treacă lumina prin ele, culoarea lor fiind verde, culoare complementară culorii aurului prin reflexie (galbenă). De reținut că nu întotdeauna culoarea unui corp prin transmisie este complementară colorii prin reflexie. Sînt, de exemplu, corpuri care au aceeași culoare prin reflexie, ca și prin transmisie. Înseamnă că astfel de corpuri reflectă o parte din radiația roșie, iar o parte din această radiație este lăsată să treacă, celelalte radiații din spectru fiind absorbite.

De remarcat că culoarea corpurilor este influențată de temperatură.

Dacă un corp reflectă în întregime lumina albă, ochiul este impresionat corespunzător și corpul este denumit *alb*, iar dacă absoarbe în întregime lumina albă ce cade pe el, atunci se spune că este *negru*, ochiul fiind impresionat în alt mod față de cazul anterior.

IX.5. Spectrele pot fi continue sau discontinue

Spectrul reprezintă o succesiune de imagini monocromatice ale fantei de intrare a unui aparat spectral cu prismă sau cu rețea de difracție, la trecerea luminii albe prin ele, sau după reflexia luminii pe unele tipuri de rețele de difracție

(rețele metalice), imaginile fiind ordonate după lungimea de undă. Aceste imagini se numesc *linii spectrale* și pot fi adiacente sau distincte. Cînd liniile spectrale sînt adiacente se spune că spectrul este *continuu*, iar dacă liniile spectrale sînt distincte spectrul este *discontinuu*.

Spectrul continuu, cum este spectrul solar sau spectrul luminii date de un bec electric cu incandescență, se prezintă sub forma unui ansamblu de șapte domenii de culoare între care sînt diferențe clare (roșu, oranj, galben, verde, albastru, indigo și violet), nuanța culorii fiind determinată de lungimea de undă a radiației, trecerea de la un domeniu de culoare la altul făcîndu-se fără întrerupere. Astfel de spectre dau și corpurile solide sau lichide (metale în stare topită) aduse la incandescență. De asemenea, în anumite cazuri și pentru anumite regiuni de lungimi de undă, gazele și vaporii excitați termic sau electric pot da spectre continue.

Dacă un fascicul de lumină albă trece prin gaze ori vapori de metal, se observă că spectrul luminii albe este brăzdat de niște linii negre. Experiența arată că aceste linii negre se găsesc în locurile unde gazele sau vaporii de metal ar produce linii spectrale proprii. Această constatare a condus la concluzia că *gazele și vaporii de metal absorb acele radiații din spectru pe care ele însele le emit în aceleași condiții*. Aceasta este *legea lui Kirchhoff* și stă la baza spectroscopiei de absorbție, spectrele obținute în condițiile arătate mai sus fiind denumite *spectre de absorbție*.

Spectrele discontinue pot fi de linii sau de bandă. Primele se prezintă sub forma unui ansamblu de linii distincte care corespund radiațiilor de diferite frecvențe (culori) și intensități, avînd o anumită distribuție, plasate pe un fond negru. Aceste spectre sînt date de atomii elementelor în timpul tranziției electronilor de pe un nivel energetic superior pe un nivel energetic inferior.

Liniile spectrale par să corespundă radiațiilor monocromatice. În realitate însă, așa cum arată experiența, o linie spectrală corespunde întotdeauna radiațiilor care ocupă un anumit interval de lungime de undă. Variația intensității luminoase în funcție de lungimea de undă pentru o linie de emisie este arătată pe figura IX.3. Cantitatea λ_f reprezintă ceea ce se numește *finețea (lărgimea)* liniei spectrale și se exprimă în *nanometri*. De exemplu, finețea liniilor spectrale poate fi de ordinul 0,05 nm în cazul surselor de radiații intense. Se pot obține însă linii mai fine, cu lărgimea de

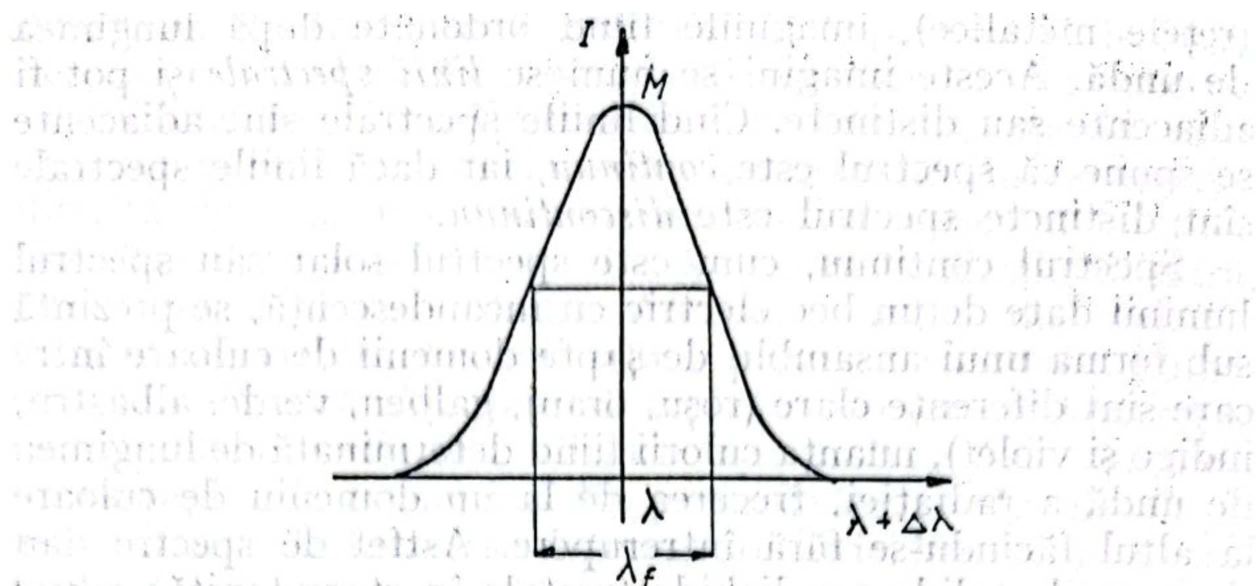


Fig. IX.3

ordinul 10^{-3} nm. Conform legii lui Kirchhoff, alura curbei este aceeaşi şi în emisie şi în absorbţie. După teoria cuantică, emisia şi absorbţia se datoresc proceselor cuantice.

Spectrul de emisie apare ca urmare a tranziţiilor (radiative) a tuturor atomilor sau moleculelor unei substanţe de pe nivele energetice superioare pe nivele energetice inferioare. Spectrul de emisie apare strălucitor pe un fond negru şi este caracteristic fiecărui element. De aceea, spectrul de emisie este folosit la identificarea elementelor în stare pură sau în aliaje (fig. IX.4, a).

Spectrul de absorbţie se datoreşte tranziţiilor (radiative) ale tuturor atomilor sau moleculelor unei substanţe de pe nivele energetice inferioare pe nivele energetice superioare, atunci cînd substanţa este traversată de un fascicul de radiaţii electromagnetice cu spectru continuu, de exemplu, radiaţiile luminoase provenite de la un bec electric cu incandescenţă, aprins. Spectrul de absorbţie apare întunecat pe fondul unui spectru continuu.

Studiul spectrelor de emisie şi al spectrelor de absorbţie constituie baza analizei spectrale.

Există, însă, spectre care constau dintr-un număr de benzi de culori diferite, fiecare bandă fiind formată dintr-un număr mare de linii fine şi extrem de apropiate. Ansamblul acestor benzi se află pe un fond negru.

Astfel de spectre sînt denumite *spectre de bandă* şi sînt date de combinaţiile chimice ale căror molecule sînt excitate (fig. IX,4, b).

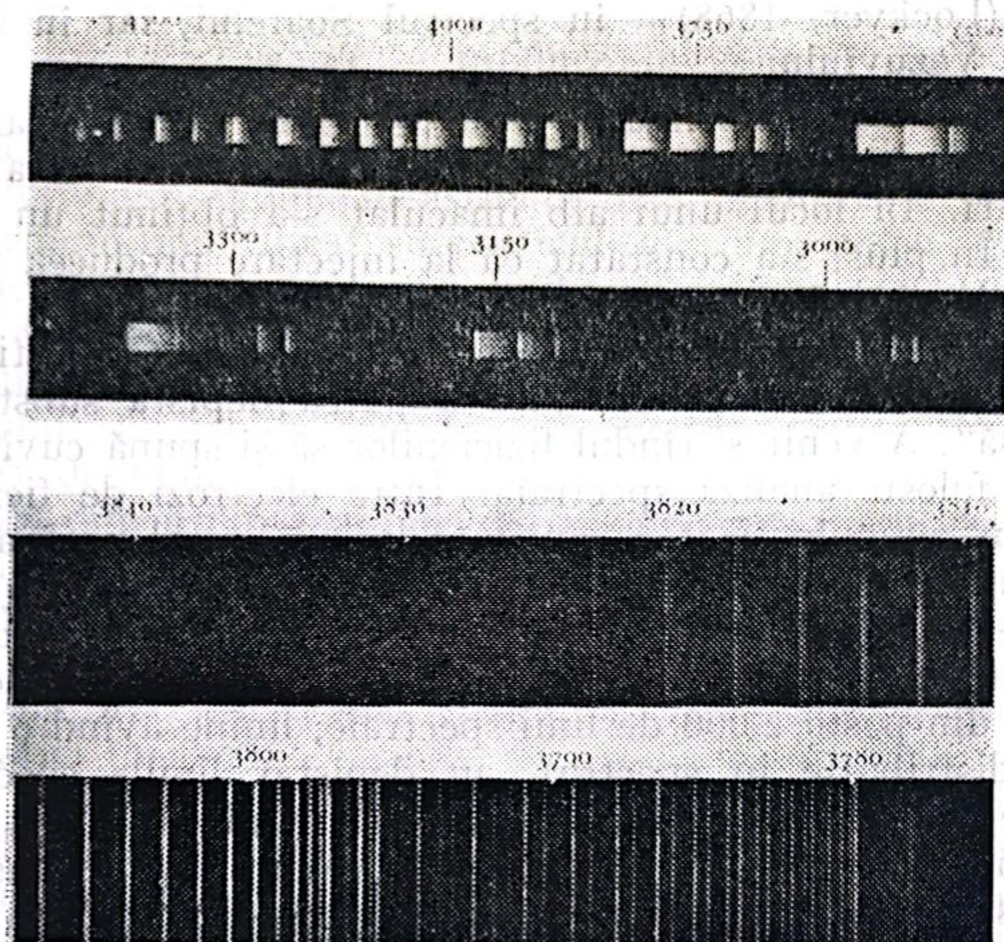


Fig. IX.4 a,b,

În anul 1885, Deslandres a stabilit legile care dau repartiția liniilor în spectrele de bandă. Formulele lui Deslandres joacă un rol fundamental în studiul spectrelor de bandă, așa cum formulele de tip Balmer au un rol fundamental în spectrele de linii.

IX.6. Desigur că ați auzit de analiza spectrală; dar în ce constă?

Spectrele pe care le dau substanțele (corpurile) permit să se determine elementele care le alcătuiesc, corpurile putînd fi situate la distanță mică sau foarte mare de experimentator; metoda este denumită *analiză spectrală*. Precizia și avantajele acestei metode de analiză a substanțelor după spectrul lor sînt extrem de mari și de aceea este folosită tot mai mult în cele mai diverse domenii. Cantitatea de substanță necesară pentru o determinare este de ordinul 0,000001 g, deci o milionime dintr-un gram. Inițiatorul analizei spectrale este Fraunhofer. Cu ajutorul ei s-au descoperit cesiul (Bunsen, 1860), rubidiul (Kirchhoff, 1861), taliul (Crookes, 1861),

heliul (Lockyer, 1868) — în spectrul Soarelui, iar în 1882 în lava Vezuviului.

Cînd s-a produs prima șarjă de penicilină în țara noastră, la fabrica de antibiotice din Iași, culoarea pulberii era sub așteptări. În locul unui alb imaculat s-a obținut un alb-vînăt. În plus, s-a constatat că la injectare producea mari dureri locale. S-a presupus existența, în pulbere, a unui ingredient a cărui prezență nu era necesară. Chimiștii au făcut tot felul de analize fără a putea depista substanța „intrusă". A venit și rîndul fizicienilor să-și spună cuvîntul. Ei au folosit analiza spectrală. Între electrozi de fier cît mai pur au pulverizat o cantitate infimă, total neglijabilă, de penicilină, în timp ce între electrozi se producea o descărcare electrică sub formă de arc și au fotografiat spectrul. Comparînd spectrul obținut, cu spectrul fierului pur (acesta constă din peste 2 000 de linii spectrale, liniile avînd o anumită distribuție în spectru), au depistat liniile spectrale străine, determinîndu-le lungimea de undă. Cu ajutorul cataloagelor de linii spectrale au identificat elementul „intrus": *bismutul*. Chimiștii, cunoscînd, acum, elementul străin au aplicat metoda corespunzătoare de separare obținîndu-se, astfel, o penicilină de o calitate excelentă care concură în străinătate cu cele mai bune sortimente de acest fel. Evident, durerile (numai la penicilina G potasică) la injectare, s-au micșorat foarte mult.

Analiza spectrală se face atît după spectrul de absorbție, cît și după spectrul de emisie. Analiza spectrală a dat posibilitatea determinării compoziției astrelor, constatîndu-se că sînt alcătuite din aceleași elemente existente pe Pămînt, dovedindu-se astfel unitatea materială a Universului.

IX.7. Despre difuzia luminii și culoarea albastră a cerului senin

Fie un fascicul de radiații din domeniul vizibil sau ultraviolet al spectrului pe care-l dirijăm să se propage printr-un mediu lichid, mediu care să fie total sau numai parțial transparent pentru acest fascicul. Experiența arată că fasciculul de radiații este *parțial difuzat (împrăștiat)* și că în radiația difuzată sînt trei componente după cum urmează:

1. O componentă datorită *efectului Tyndall*;
2. O componentă datorită *efectului Rayleigh*;

3. O componentă datorită *efectului Raman*.

1. *Efectul Tyndall* se produce în general cînd lumina pătrunde într-un *mediu tulbure* [1] și constă în difuzia acesteia, adică împrăștierea luminii după toate direcțiile în mediul respectiv. Ca exemple de astfel de medii menționăm: a) aerul atmosferic impurificat cu particule de fum, polen, praf sau cu picături fine de apă ca în cazul ceții și a norilor; b) suspensiile, emulsiile, mediile solide neomogene sau impure ca opalul, sideful, sticlele lăptoase ș.a. În toate cazurile, particulele, fie solide, fie lichide, trebuie să fie mici în comparație cu lungimea de undă a radiației utilizate (particulele difuzante să aibă dimensiuni mai mici decît a cincea parte din lungimea de undă a radiației).

Intensitatea luminii difuzate este cu foarte mult mai slabă decît intensitatea fasciculului incident, însă frecvența radiației difuzate (împrăștiate) este practic egală cu frecvența radiației incidente.

2. *Efectul Rayleigh* constă în împrăștierea luminii printr-un mediu datorită fluctuațiilor statistice ale densității în mediul considerat. Efectul Rayleigh se produce în medii gazoase, lichide sau solide omogene. Radiația difuzată prin efect Rayleigh este în general polarizată. Pe baza efectului Rayleigh se explică *culoarea albastră a cerului senin*. Fluctuațiile locale de densitate a aerului atmosferic, care se produc în mod permanent, fac să apară centre de perturbație care difuzează puternic radiațiile *albastre și violete* din domeniul vizibil al spectrului. Astfel, cerul capătă culoarea pe care o știm.

Și aici, ca și în cazul efectului Tyndall, frecvența radiației difuzate este practic egală cu frecvența radiației incidente, iar intensitatea radiațiilor difuzate este foarte slabă față de intensitatea radiației incidente (pe unitatea de volum difuzează a milioana parte din energia fasciculului primar). Efectul Rayleigh mai este denumit, în literatura de specialitate, *difuzie moleculară a luminii*.

3. *Efectul Raman*. Cea de a treia componentă, în ordinea dată mai sus, este o radiație cu altă lungime de undă față de lungimea de undă a radiației incidente. Prin aceasta se manifestă *efectul Raman*. Radiația incidentă trebuie să fie monocromatică, de o anumită frecvență și deci de

---

[1] Mediile care prezintă o neomogenitate optică, puternic pronunțată, poartă numele de „medii tulburi".

o anumită lungime de undă. Poate fi folosită ca radiație incidentă și o radiație alcătuită dintr-un număr distinct de radiații monocromatice. Spectrul obținut după difuzie arată că fiecare linie spectrală corespunzătoare radiației incidente are de o parte și de alta, simetric, un număr de linii spectrale, cărora le corespund anumite frecvențe. Aceste linii au fost denumite *linii spectrale-satelit*.

Cercetările au stabilit că diferențele dintre frecvența radiației incidente și frecvența liniilor din radiația difuzată (împrăștiată) sînt caracteristice pentru substanța difuzantă.

Radiația difuzată prin efect Raman este deosebită de radiația difuzată prin efect Tyndall și de radiația difuzată prin efect Rayleigh, prin aceea că radiația difuzată prin efect Raman dă un spectru în care linia spectrală a radiației incidente este încadrată de linii satelit. Cu alte cuvinte, frecvența luminii difuzate este un amestec de frecvențe de valori diferite (toate frecvențele „combinate": frecvența radiației incidente și frecvența sateliților). De aceea, efectul Raman se mai numește și *difuzie combinată a luminii*. Deosebirea mai constă și în faptul că liniile din spectrul radiației difuzate prin efect Raman corespund unei radiații parțial depolarizate, în timp ce liniile spectrale din spectrul radiației difuzate prin efect Rayleigh, corespund unei radiații polarizate.

Cu ajutorul metodei difuziei combinate a luminii se pot determina, ușor și repede, frecvențele proprii de vibrație ale moleculei sau se pot face considerații cu privire la valoarea forțelor intermoleculare ș.a.

Difuzia combinată a luminii a mai fost studiată de către fizicienii sovietici Landsberg și Mandelstam, în același an cu Raman (1928).

Spectrul radiației difuzate reprezintă spectrul Raman al substanței.

Spectroscopia Raman este aplicată în studierea și determinarea structurii moleculelor din care este alcătuită substanța difuzantă. Se mai folosește în scopul analizei calitative a unui amestec și în analiza chimică cantitativă.

IX.8. Cu ce se studiază spectrele?

Spectrele substanțelor se studiază cu ajutorul unor aparate speciale denumite *aparate spectrale*. Aparatele spectrale care servesc numai la observarea spectrelor, se numesc

spectroscoape (din grecește, de la *spectro* — spectru și *scopein* a observa) iar aparatele spectrale cu ajutorul cărora se fotografiază spectrele nu numesc *spectrografe*.

Cel mai maniabil aparat spectral este *spectroscopul simplu*, cu o singură prismă (spectroscopul școlar), dat în figura IX.5. Părțile principale componente sînt: *Colimatorul*; acesta este confecționat dintr-un tub metalic înnegrit în interior, avînd la extremitatea dinspre prismă o lentilă convergentă, iar la extremitatea cealaltă, în planul focal al lentilei, o fantă reglabilă. Colimatorul servește la obținerea unui fascicul de lumină paralel. Acesta pătrunzînd în prismă se produce fenomenul de dispersie [1], spectrul fiind studiat cu ajutorul unei lunete și a unui tub cu scală (fig. IX.5). *Luneta* este de tip Kepler și are grosisment mic ($G = 3\times$). *Tubul cu scală* constă dintr-un tub metalic înnegrit în interior, avînd la extremitatea dinspre prismă o lentilă convergentă, iar la extremitatea opusă o scală plană. Scala se află între focarul obiect al lentilei și dublul distanței focale a acesteia.

Pa fața AB a prismei este proiectată scala și ca urmare a fenomenului de reflexie, pe această față, imaginea acesteia se vede în cîmpul lunetei suprapusă peste spectru.

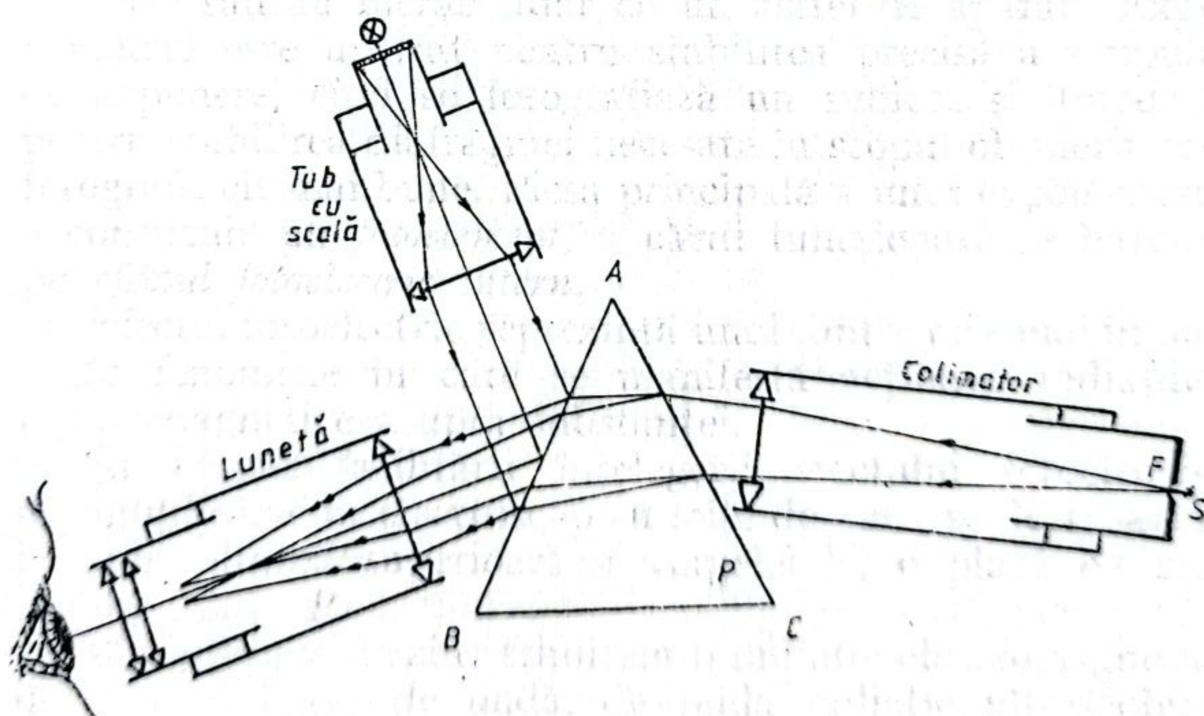


Fig. IX.5

[1] Prin fenomenul de dispersie se înțelege fenomenul de descompunere spațială a lumini în radiațiile monocromatice componente, datorită variației indicelui de refracție a substanței din care este confecționată prisma în funcție de lungimea de undă sau de frecvența radiației incidente.

Cu spectroscopul se lucrează în felul următor:

Dacă dorim să vedem un spectru continuu, plasăm în fața fantei *F* un bec electric, de exemplu, și privim prin lunetă. Lumina albă emisă de bec părăsește colimatorul sub forma unui fascicul paralel și pătrunde în prismă, producîndu-se fenomenul de dispersie și astfel în cîmpul lunetei apare spectrul continuu. Dacă în fața becului așezăm o eprubetă cu o soluție de clorură de sodiu, de exemplu, vom observa că spectrul continuu este traversat de două linii negre foarte apropiate. Ceea ce vedem este un spectru de absorbție. În caz că în locul becului electric, folosim o mică flacără în care introducem o bucățică de asbest îmbibată cu soluția de clorură de sodiu, vom vedea în cîmpul lunetei o linie galbenă ce reprezintă spectrul sodiului. Cu un aparat perfecționat (cu mare putere de separare) în spectrul sodiului se pot vedea două linii foarte fine și foarte apropiate. Tot cu ajutorul spectroscopului se pot studia și spectrele de bandă.

Capitolul X

ÎN CARE SE ARATĂ CUM S-A AJUNS DE LA CINEMATOGRAFUL MUT LA CINEMATOGRAFUL SONOR

X.1. Niște experiențe și unele concluzii

Evoluția artei cinematografice a avut loc pe parcursul mai multor decenii. La început filmele erau fără sonor, „mute" cum se mai spune, și abia mult mai tîrziu, după cîteva zeci de ani a început producția filmelor cu sonor. Sonorizarea filmelor a fost realizată în condiții optime numai după ce au fost inventate *celulele fotoelectrice*, a căror funcționare are la bază *efectul fotoelectric*.

Mulți fotoamatori au văzut în magazinele „foto" exponometre sau au lucrat chiar cu un astfel de aparat. Exponometrul este utilizat pentru stabilirea precisă a timpului de expunere, cînd se fotografiază un subiect și, totodată, pentru stabilirea diafragmei necesare în scopul obținerii unei fotografii cît mai bune. Piesa principală a unui exponometru o constituie un *fotoelement*, a cărui funcționare se bazează pe *efectul fotoelectric intern*.

Efectul fotoelectric reprezintă unul dintre cele mai importante fenomene în care se manifestă acțiunea radiațiilor electromagnetice asupra substanței.

În scopul facilitării înțelegerii efectului fotoelectric, să considerăm un electroscop cu foițe de aur (fig. X.1), avînd la extremitatea superioară a vergelei, *V*, o placă de zinc amalgamată, *P*.

Înspre placa de zinc trimitem o radiație electromagnetică de mică lungime de undă, de pildă radiație ultravioletă; vom constata următoarele:

a) Dacă electroscopul nu este încărcat, atunci el se *încarcă pozitiv*;

b) Dacă este, inițial, *încărcat negativ*, atunci el se descarcă;

c) Dacă electroscopul este, inițial, *încărcat pozitiv*, atunci el se încarcă mai mult, evident, *tot pozitiv*.

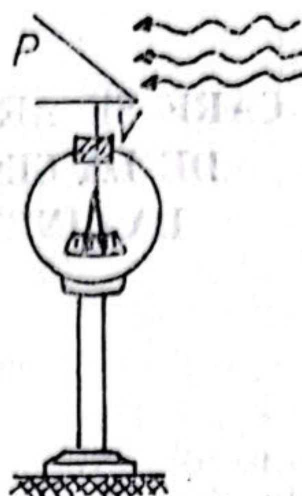


Fig. X.1

Din această experiență, efectuată, după cum am văzut, în trei etape, se desprinde imediat concluzia: sub acțiunea radiațiilor ultraviolete placa de zinc (Zn) emite particule încărcate cu *sarcină electrică negativă*. Lenard și Thomson au determinat, în anul 1898, raportul e/m dintre sarcina particulelor emise de zincul iradiat și masa acestor particule, și au obținut valoarea raportului e/m, unde e este sarcina electrică a electronului în valoare absolută, iar m masa acestuia. S-a conchis, astfel, că particulele încărcate cu *sarcină electrică negativă* eliberate din metal de radiația ultravioletă sînt electroni.

Fenomenul descris, adică fenomenul de emisie de electroni de către o substanță sub acțiunea radiațiilor electromagnetice este denumit efect fotoelectric. Fenomenul a fost descoperit de Hertz, în anul 1887, și studiat în 1888 de Stoletov și Hallwachs, care au stabilit și unele legi.

Teoria efectului fotoelectric a fost dată de A. Einstein în anul 1905, extinzînd o ipoteză formulată de Planck, cu 5 ani mai înainte. Einstein postulează că un fascicul de lumină constă din mici particule avînd numai masă de mișcare (masa de repaus și sarcina electrică fiind nule) denumite de el *fotoni* și care au o energie direct proporțională cu frecvența luminii: $\varepsilon = h\nu$, în care ε este energia unui foton, ν frecvența luminii și h o constantă universală purtînd numele lui Planck *(constanta lui Planck)* și are valoarea $6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J.s. Energia $h\nu$ a fotonului este numită *cuantă de energie*. Cînd fotonii ciocnesc electronii de la suprafața unui metal pot transfera energia lor electronilor, aceștia primind toată energia fotonilor sau nimic, fotonii încetîndu-și existența. De aceea

se spune că are loc un proces *„totul sau nimic"*. În cazul că electronii au direcție de mișcare convenabilă, atunci, în urma procesului amintit mai sus, ei, cîștigînd energie, pot ieși din metal. Dar, evadînd din metal, electronii pierd o energie E_i care reprezintă lucrul mecanic de extracție din metal (lucrul mecanic pentru extragerea electronilor din metal). Electronii aflați în interiorul metalului la diferite distanțe față de suprafața acestuia vor pierde mai multă energie, dar așa fel încît energia cu care sînt extrași electronii din metal nu poate fi mai mică decît diferența dintre energia fotonilor și lucrul mecanic de extracție. Așadar, energia maximă cu care pot fi extrași electronii din metal trebuie să fie, $h\nu - E_i = E_c$, în care $E_c = \frac{mv^2_{max}}{2}$ reprezintă energia cinetică maximă a electronilor, v_{max} — viteza maximă a electronilor. Această relație, denumită *ecuația efectului fotoelectric*, a fost dată de Einstein și de aceea îi poartă numele. *Relația lui Einstein* a fost în deplin acord cu rezultatele experimentale ale lui Millikan din 1916. În acest fel teoria lui Einstein asupra efectului fotoelectric și-a găsit o confirmare experimentală. Pînă la această confirmare, timp de 11 ani, teoria lui Einstein nu a fost acceptată unanim, fiind considerată prea radicală pentru vremea respectivă (1905).

Teoria efectului fotoelectric și teoria relativității i-au adus lui Einstein Premiul Nobel, în anul 1921.

X.2. Știți ce sînt fotoelementele?

Cu peste 60 de ani în urmă s-a constatat de unii experimentatori că anumite substanțe (compuși cristalini) devin ușor conductoare atunci cînd sînt iradiate cu radiație electromagnetică de o anumită lungime de undă. Fenomenul a primit denumirea de *fotoconductibilitate*, iar substanțele care prezintă acest fenomen au fost numite *semiconductoare*. Un exemplu clasic de semiconductor îl constituie seleniul și cuproxidul (oxidul de cupru). Vom descrie, în cele ce urmează, un fotoelement cu cuproxid. Acesta este format dintr-o placă de cupru (fig. X.2, a) pe care se depune (prin încălzirea într-o atmosferă de oxigen) un strat de cuproxid de mică grosime și peste acesta o foiță de aur, aprope transparentă (grosimea de ordinul micrometrilor). Între stratul de cuproxid și cupru se formează, la unele fotoelemente, un strat denumit *de baraj*. La alte fotoelemente *stratul de*

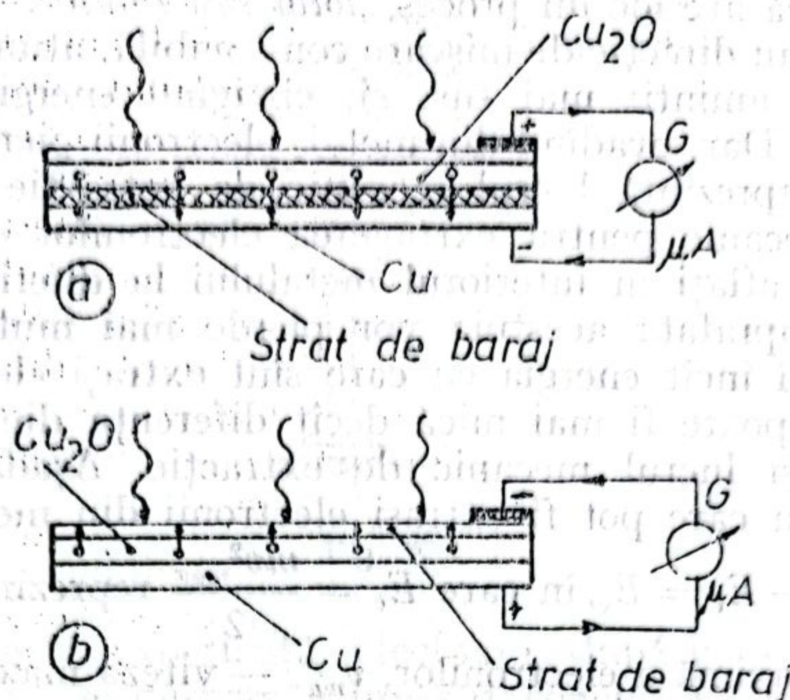


Fig. X.2

baraj se formează între stratul de cuproxid și foița de aur. Dacă se trimite înspre foița de aur radiație luminoasă (radiație electromagnetică cu lungimea de undă cuprinsă în domeniul vizibil al spectrului, adică lungimea de undă cuprinsă între 400 nm și 760 nm), atunci în stratul de cuproxid se pun în libertate electroni, care trec prin stratul de baraj înspre lama de cupru, circuitul închizîndu-se prin galvanometrul *G*. Dacă stratul de baraj se află între stratul de cuproxid și foița subțire, atunci (fig. X.2, b) electronii trec din stratul de cuproxid prin stratul de baraj în foița subțire, circuitul închizîndu-se prin galvanometrul *G*. Se observă că electronii trec întotdeauna prin stratul de baraj și numai într-un singur sens. Cu alte cuvinte, un astfel de fotoelement funcționează ca o supapă. Curentul indicat de galvanometrul *G* este de ordinul microamperilor.

Se observă că electronii nu părăsesc substanța pentru a închide circuitul. De aceea se spune că efectul fotoelectric este *intern*.

Fotoelementele se folosesc în construcția lumenmetrelor (acestea măsoară fluxul luminos), a luxmetrelor (acestea măsoară iluminarea), a exponometrelor utilizate în practica fotografică. În figura X.3 se arată aspectul general al unui exponometru cu fotoelement. Am făcut această precizare deoarece sînt exponometre care funcționează pe alt principiu.

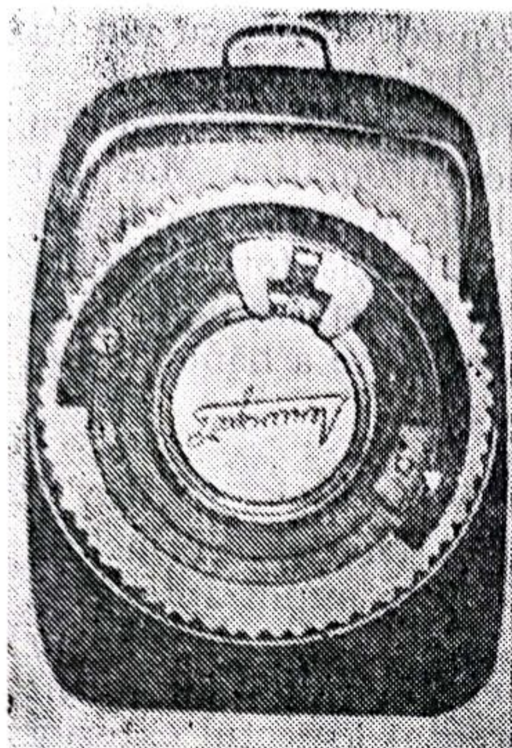


Fig. X.3

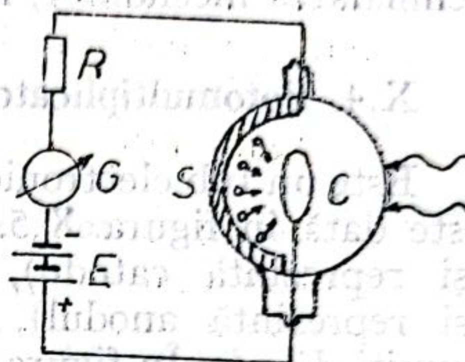


Fig. X.4

X.3. ...Dar celulele fotoelectrice?

O celulă fotoelectrică constă dintr-un glob de sticlă cu diametrul de 2—3 cm, avînd o jumătate din suprafața interioară acoperită cu un strat fotosensibil, *S* (fig. X.4) și care constituie emițătorul. În centrul de simetrie al globului se află un inel mic din wolfram sau alt metal și constituie colectorul (anodul), *C*. Celula este în circuitul alcătuit dintr-un rezistor, *R*, o sursă de curent continuu, *E*, și un galvanometru, *G*. Trimițînd un fascicul de lumină înspre fotocelulă, din stratul semiconductor se pun în libertate electroni, care sînt concentrați pe inel închizîndu-se, astfel, circuitul. Se observă că, aici, electronii părăsesc substanța semiconductoare pentru a ajunge la colectorul (anodul) *C*. De aceea, în acest caz, se spune că efectul fotoelectric este *extern*. Sursa de curent din circuit servește la menținerea curentului de saturație și a colectorului *C* la un potențial pozitiv față de emițătorul *S*.

Celulele fotoelectrice pot fi cu gaz inert, în interior, sau fără gaz, cu vid.

Celulele fotoelectrice cu vid au o sensibilitate mai redusă decît celulele fotoelectrice cu gaz. Explicația este simplă și anume: valoarea curentului electric depinde de procesele de ionizare care se produc în gaze. Celulele cu gaz au, de aceea,

sensibilitatea de 100 μA/lumen, în timp ce celulele cu vid au sensibilitatea de numai 10 μA/lumen (10 μA/lm).

Fotocelulele au numeroase aplicații. Astfel, amintim aici aplicații în cinematografie, televiziune, automatică. Mai sînt folosite în domeniul sportiv, în locul sforii care marchează linia de sosire a concurenților, în construcția fotocolorimetrelor utilizate în laboratoare de chimie, în instalațiile privind semnalarea incendiilor, în sistemul de apărare a băncilor ș.a.

X.4. Fotomultiplicatorul

Este un tub electronic special, a cărui schemă de principiu este dată în figura X.5. Electrodul *S* este numit fotocatod (și reprezintă catodu), electrodul *C* este numit *colector* (și reprezintă anodul), iar ceilalți electrozi $D_1 ... D_4$ sînt numiți *dinode*. În figura X.6 este prezentat aspectul exterior al unui fotomultiplicator.

Fotocatodul este foarte sensibil și la el ajunge lumina focalizată cu ajutorul lentilei. Din fotocatod sînt extrași un număr de electroni care ajungînd la prima dinodă provoacă o emisie secundară, ceea ce face să crească numărul

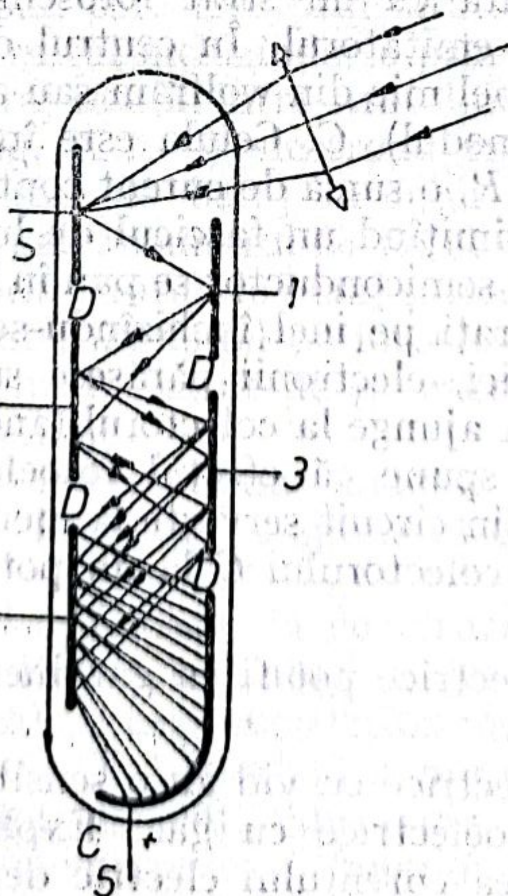


Fig. X.5

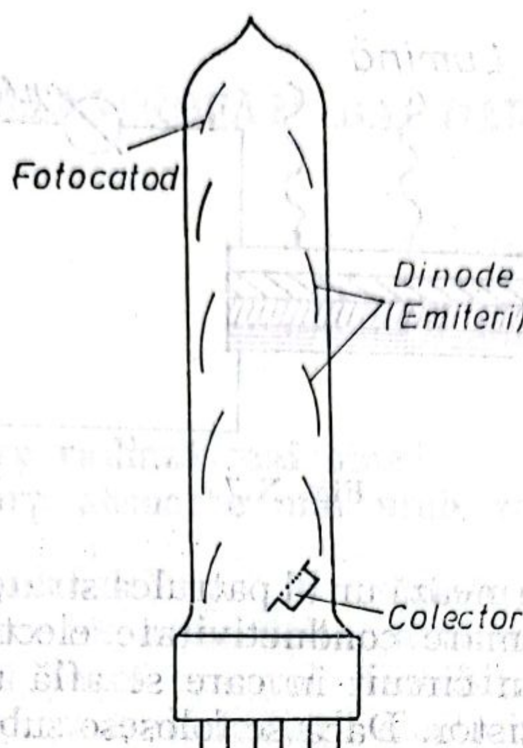


Fig. X.6

de electroni. De exemplu, fiecare electron care pleacă de la fotocatod scoate doi electroni din prima dinodă, electroni care sînt accelerați spre dinoda D_2, iar aceștia, la rîndul lor, scot patru electroni din a doua dinodă, apoi aceștia eliberează 8 electroni din dinoda următoare ș.a.m.d. În acest fel se formează o avalanșă de electroni colectați de anodul colector, *C*. Avalanșa de electroni dă naștere unui curent care poate fi amplificat ușor.

Fotomultiplicatoarele sînt foarte adesea utilizate în fizica experimentală, la detecția și amplificarea cuantelor de lumină prin acțiunea fotonilor asupra fotocatodului. Se folosesc, de asemenea, pentru înregistrarea unor semnale luminoase de scurtă durată și de mică intensitate. Sensibilitatea fotomultiplicatoarelor este de ordinul mA/lm și chiar al A/lm.

X.5. O noutate! Celula solară

Celula solară denumită și *fotodiodă* este de asemenea o aplicație a efectului fotoelectric și servește la transformarea energiei radiațiilor solare în energie electrică. Schema de principiu este dată în figura X.7. Așa cum se observă, fotodioda constă dintr-o placă subțire de cupru, *4*, pe care este aplicat un strat semiconductor din cuproxid cu conducție de electroni, *3*, și peste acesta un strat de cuproxid cu conducție de

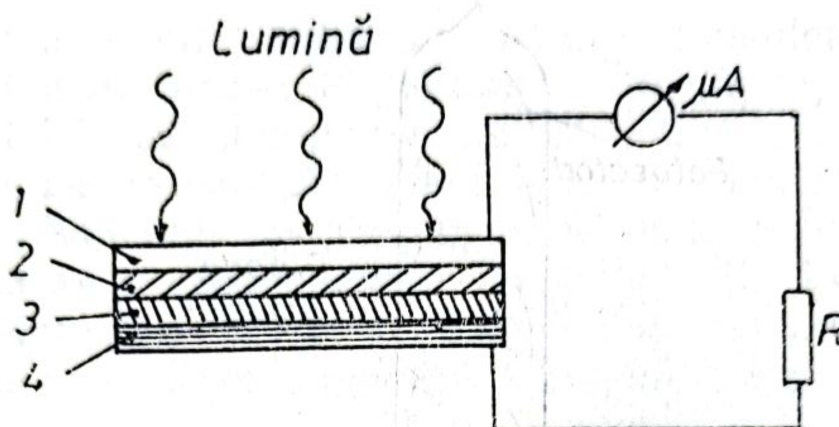


Fig. X.7

goluri, *2*. În fine, urmează un al patrulea strat, *1*, care este însă transparent și cu mare conductivitate electrică. Fotodioda se introduce într-un circuit în care se află un microampermetru μA și un rezistor. Dacă se folosesc substanțe semiconductoare ca, seleniul, sulfura de cadmiu, sulfura de plumb, randamentul de transformare a energiei radiațiilor solare în energie electrică este 1—5%. Randamentul poate ajunge pînă la 15% dacă substanța semiconductoare este siliciul, folosit în prezent la construcția celulelor solare.

Bateriile solare, formate prin legarea mai multor celule solare, sînt surse de energie electrică la bordul sateliților artificiali ai Pămîntului, la bordul navelor cosmice ș.a.

O „CATASTROFĂ?“ DA! DAR ULTRAVIOLETĂ

XI.1. Ce corp radiază mai bine? Dar care corp absoarbe mai mult radiația termică?

Atomii și moleculele pot fi excitate în diverse moduri. Unul dintre procedee este excitarea termică, despre care se poate spune că joacă un rol deosebit. Prin dezexcitare, moleculele și atomii emit radiații electromagnetice. Radiația electromagnetică emisă, datorită exclusiv agitației termice, este numită *radiație termică*. Studiul acestei radiații a scos în evidență insuficiențele modelelor fizicii clasice și, prin interpretarea dată de Planck radiației termice, a dus la crearea modelelor cuantice.

Din practică se știe că dacă temperatura unui corp diferă de cea a corpurilor înconjurătoare, se realizează de la sine, cu timpul, o egalizare a temperaturilor corpurilor din sistem, un *echilibru termic*. În acest moment temperatura tuturor corpurilor are aceeași valoare și este numită *temperatură de echilibru*. Echilibrul termic se realizează prin conducție, prin convecție sau prin radiație electromagnetică. Dacă un corp cu temperatură mai ridicată decît aceea a corpurilor înconjurătoare este plasat în vid, izolat adiabatic, așa ca pierderile prin conductibilitate să fie neglijabile sau nule, echilibrul termic se stabilește, totuși, prin radiație electromagnetică mai curînd sau mai tîrziu, după mărimea și modul de prelucrare a suprafeței corpului.

Să considerăm un vas de cupru de formă paralelipipedică, avînd fețele laterale prelucrate diferit: o față lustruită, una vopsită în alb, una în negru lucios și alta în negru mat. Să umplem acest vas cu apă la temperatura de fierbere (100°C). Cu ajutorul a patru termometre identice, plasate în dreptul celor patru fețe, la aceeași distanță și aceeași înălțime față de bază (fig. XI.1) se poate stabili că fața vopsită cu negru mat radiază cel mai intens. Urmează apoi

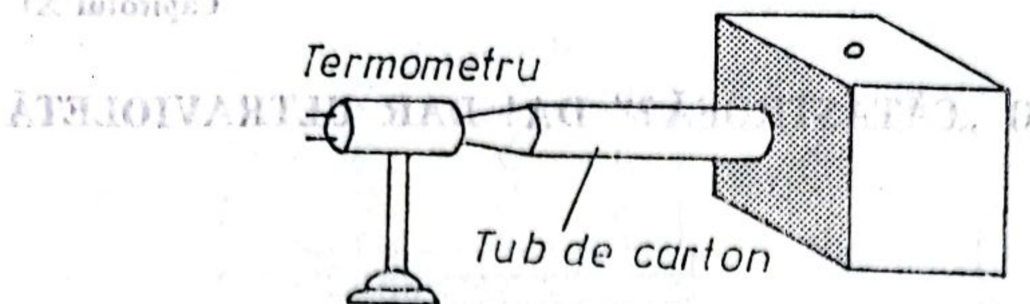


Fig. XI.1

fața vopsită în negru lucios și cea lustruită ; acea care radiază cel mai puțin este fața vopsită în alb.

Același vas, gol de data aceasta, prevăzut cu un dop prin care trece un tub de sticlă îndoit în *L*, în care o picătură de apă colorată servește ca reper pentru a ne indica variațiile de volum ale aerului din vas (fig. XI.2) poate servi ca termometru. Încălzind pe rînd cele patru fețe ale paralelipipedului, cu ajutorul unui bec electric plasat la o oarecare distanță, se constată că, în aceleași condiții, fața vopsită în negru mat prezintă cea mai mare absorbție. Urmează celelalte fețe în aceeași ordine ca la emisia radiației. Această legătură a fost stabilită de Prévost în anul 1801 și poartă numele de *regula lui Prévost*: dacă *în aceleași condiții două corpuri emit energie radiantă în mod diferit, corpul care emite mai intens este și cel care absoarbe mai intens energia radiantă.*

XI.2. Culori energetice?

Să presupunem că pe suprafața unui corp ajunge energie radiantă provenită de la o sursă de energie electromagnetică, energie transportată de unde electromagnetice de o anumită lungime de undă. Această energie este parțial reflectată,

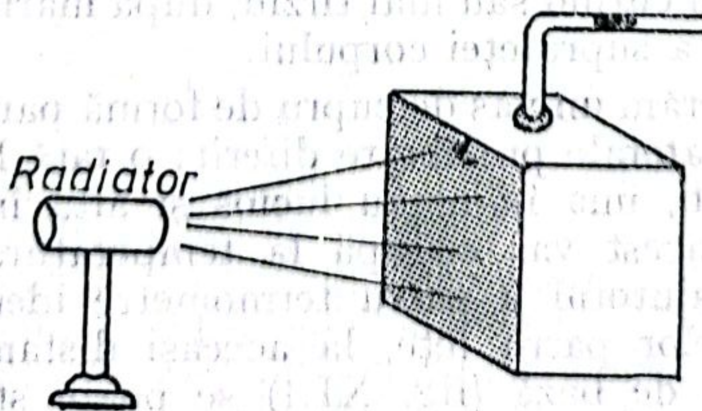


Fig. XI.2

parțial transmisă și parțial absorbită de către corpul respectiv. Dacă energia radiantă este absorbită în întregime de către corp, se spune că corpul este *absolut negru*, iar dacă este integral reflectată se spune că corpul este *alb*. Dacă energia radiantă este absorbită parțial și selectiv, corpul este *colorat*. Aceste denumiri de culoare sînt energetice și se deosebesc de cele cromatice care indică culoarea propriu-zisă a corpului. Se poate întîmpla, totuși, ca să coincidă culoarea energetică cu cea cromatică.

XI.3. Corpul negru

O suprafață înnegrită cu negru de fum absoarbe cel mult 97% din energia incidentă. Dacă radiația incidentă pătrunde într-o incintă prevăzută cu o deschidere mică, în așa fel încît o dată intrată, radiația să sufere multe reflexii înainte de a putea părăsi incinta, și presupunînd că la fiecare reflexie numai 5% din energia incidentă este reflectată, iar restul absorbită, după 5 reflexii energia radiației se reduce la 0,000031% din energia incidentă. De aceea, un asemenea dispozitiv se numește corp absolut negru sau *radiator integral*. În figura XI.3 se arată cum ar putea fi realizat, practic, un corp negru. O sferă goală în care s-a practicat o deschidere cu un diametru de circa 1/10 din diametrul sferei. În interior sfera este vopsită într-o culoare oarecare. Mersul radiației incidente este arătat pe figură.

Știm foarte bine că în timpul zilei cînd privim de afară într-o cameră, prin ferestre (acestea fiind închise), vedem că

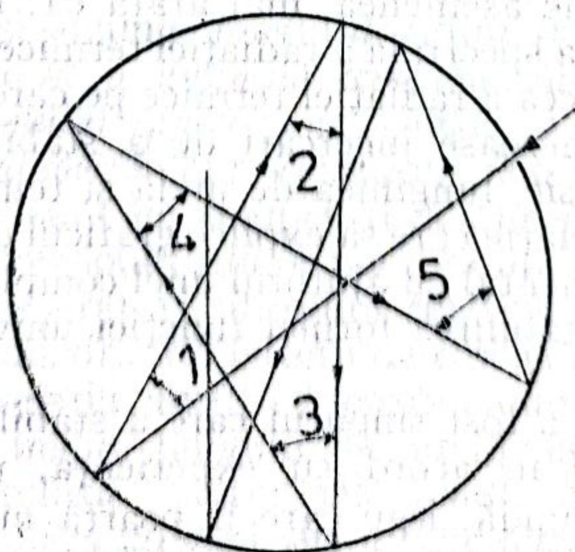


Fig. XI.3

e întuneric, cu toate că pereții sînt vopsiți într-o culoare oarecare, chiar albă. Așadar, camera pare neagră, deci se comportă ca un corp negru.

Simpla observare a unui metal încălzit ne arată influența creșterii temperaturii nu numai asupra intensității radiației, ci și asupra compoziției sale spectrale. La începutul încălzirii, o bucată de fier emite radiații invizibile pe care le putem doar simți datorită sensibilității pielii. Pe măsură ce temperatura crește apar radiații vizibile. La început corpul este roșu, apoi se îngălbenește pentru a ajunge la culoarea alb strălucitor. O muncă deosebită, teoretică și experimentală, a fost depusă pentru găsirea legăturii între temperatura unui corp și puterea lui de emisie. Prin *putere de emisie* (putere radiată) a unui corp se înțelege raportul dintre energia radiată și cea incidentă, iar raportul dintre energia absorbită de un corp și energia incidentă se numește *putere de absorbție*. Puterea de absorbție a corpului absolut negru este egală cu unitatea. Raportul dintre puterea de emisie a unui corp și puterea lui de absorbție depinde de frecvența radiației emise și de temperatură, adică este o funcție de frecvență și temperatură. În cazul corpului negru, puterea de absorbție este egală cu unitatea și de aceea funcția de frecvență și temperatură este chiar puterea de emisie a corpului absolut negru.

Pentru un corp oarecare, Kirchhoff stabilește o lege care-i poartă numele și care se formulează astfel: *Raportul între puterea de emisie și puterea de absorbție a unui corp oarecare este o funcție universală de frecvența emisă și temperatură și este egal cu puterea de emisie a corpului negru.*

Kirchhoff, de asemenea, mai arată că: la o temperatură dată, compoziția spectrală a radiației termice emisă de un corp este aceeași cu cea a radiației termice pe care o poate absorbi. Au urmat numeroase încercări de a stabili o relație între puterea de emisie, lungimea de undă și temperatură, pentru corpul negru, relație care să explice graficul din figura XI.4 — obținut experimental cu ajutorul unei complicate instalații — și să permită stabilirea formei funcției universale a lui Kirchhoff.

Max Planck a fost singurul care a stabilit legea radiației corpului negru în acord cu experiența, pe tot domeniul de lungimi de undă, lege care îi poartă numele.

În anul 1879, Stefan a descoperit experimental, următoarea lege privind radiația corpului absolut negru: *puterea*

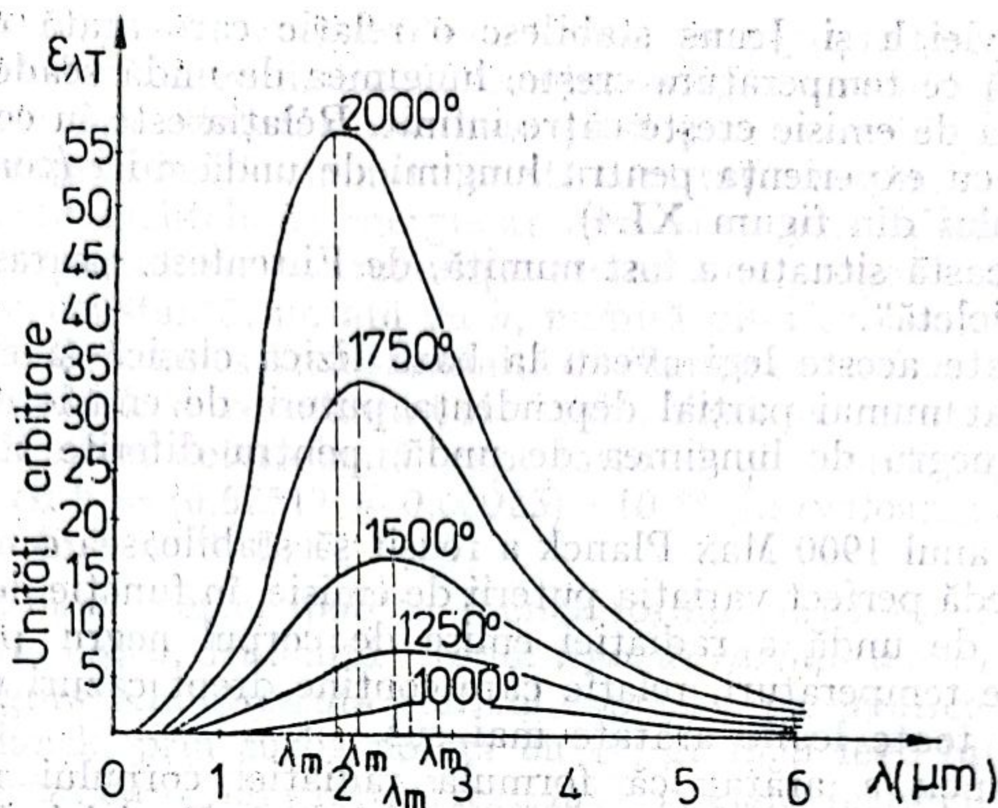


Fig. XI.4

de emisie totală a corpului negru este proporțională cu puterea a patra a temperaturii absolute. Acestei legi Boltzmann a reușit să-i dea, în 1884, o justificare termodinamică și de aceea legea poartă numele de *legea Stefan-Boltzmann*.

Analizînd variația puterii de emisie a corpului negru în funcție de temperatura T, se obsearvă că la o temperatură dată maximul curbelor din figura XI.4 corespunde la o anumită lungime de undă, care este cu atît mai mică cu cît temperatura este mai ridicată. Wien a arătat, în 1893, că între poziția maximelor și temperatură există o anumită relație și anume, *produsul dintre lungimea de undă a radiației emisă la o anumită temperatură absolută, corespunzătoare maximului puterii de emisie a corpului negru și temperatura absolută este constant.* Din această relație rezultă că pe măsură ce temperatura absolută crește, lungimea de undă corespunzătoare maximului scade, și invers, pe măsură ce temperatura absolută scade lungimea de undă corespunzătoare maximului puterii de emisie a corpului negru crește. Așadar, relația arată că poziția maximelor curbelor se „deplasează" înspre lungimi de undă mici atunci cînd temperatura absolută crește. De aceea, relația stabilită de Wien și formulată ca mai sus a fost numită *legea deplasării a lui Wien.*

Rayleigh și Jeans stabilesc o relație care arată că pe măsură ce temperatura crește, lungimea de undă scade, dar puterea de emisie crește către infinit. Relația este în contradicție cu experiența pentru lungimi de undă mici (conform graficului din figura XI.4).

Această situație a fost numită, de Ehrenfest, „catastrofa ultravioletă".

Toate aceste legi aveau la bază fizica clasică și ele au explicat numai parțial dependența puterii de emisie a corpului negru de lungimea de undă, pentru diferite temperaturi.

În anul 1900 Max Planck a reușit să stabilească o relație care redă perfect variația puterii de emisie, în funcție de lungimea de undă a radiației emise de corpul negru pentru diverse temperaturi, relație care conține drept cazuri particulare toate legile arătate mai sus.

Planck a arătat că formula radiației corpului negru trebuie să aibă aceeași formă cu cea dată de Rayleigh-Jeans, atîta timp cît deducerea ei se bazează pe principiile statistice clasice. Corespondența formulei cu experiența, pentru toate frecvențele, nu poate fi însă obținută pe această cale. Corespondența se realizează numai în domeniul lungimilor de undă mari. În domeniul vizibil și ultraviolet, diferențele între teorie și experiență sînt extrem de mari.

Planck, și-a bazat formula sa pe o ipoteză care la acea vreme (anul 1900) era, pe bună dreptate, revoluționară. El consideră că energia radiată de un corp nu se bucură de proprietatea continuității. În fizica clasică, energia unui oscilator de o anumită frecvență este direct proporțională cu pătratul amplitudinii și, deci, un astfel de oscilator poate înmagazina orice cantitate de energie. Așa fiind, un oscilator poate emite orice cantitate de energie în fiecare unitate de timp.

Dar Planck arată că un oscilator armonic emițător nu poate înmagazina orice cantitate de energie, în mod continuu, ci discontinuu, adică o cantitate care să fie un multiplu întreg de cantități elementare $h\nu$. Înseamnă că și radiația oscilatorului este emisă sub formă de cantități discrete de energie ($h\nu$). Așadar energia este emisă în mod discontinuu.

Pînă în anul 1900 fusese acceptată discontinuitatea la substanță, acum, însă, experiența cerea extinderea ei și la radiație. În concluzie, emisia și absorbția de energie se fac

în cantități care variază discontinuu, proporțional cu o cantitate bine determinată și anume *energia minimă pe care o emite sau absoarbe un atom pentru o anumită frecvență de radiație*. Planck a numit această cantitate *cuantă de energie*. Nu toate cuantele de energie au aceeași valoare. Valorile lor sînt proporționale cu frecvența, factorul de proporționalitate fiind o constantă, notată cu h, numită ulterior *constanta lui Planck*. Constanta h a fost numită de Planck *cuantă de acțiune* și reprezintă o constantă universală. Valoarea constantei lui Planck a fost determinată experimental și teoretic și este egală cu $h = (6{,}62517 \pm 0{,}00023) \cdot 10^{-34}$ J.s (valoarea rotunjită, $6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J.s).

Pe baza acestor ipoteze, Planck formulează *legea radiației corpului negru*, denumită ulterior *legea de radiație a lui Planck*.

Figura XI.5 prezintă graficul expresiei matematice a legii lui Planck, prin curba notată cu *P*; graficul legii lui Wien este notat cu *W*, iar graficul legii lui Rayleigh-Jeans cu *R—J*.

Prin urmare, fizica clasică a fost scoasă din impasul în care se afla în anul 1900, de către Planck, prin ipoteza cuantelor de radiație. După Planck, energia radiației este emisă de oscilatorii armonici liniari care se află în corpul negru, acești oscilatori putînd fi atomii sau moleculele corpului. Această emisie se face „în porții" sub forma de cuante de energie, deci discontinuu, nu continuu, cum concepea fizica clasică.

Ipoteza cuantelor de energie, devenită ulterior teoria cuantelor, a avut un rol extrem de important în dezvoltarea fizicii moderne. Pe bună dreptate fizicianul Spolski afirmă:

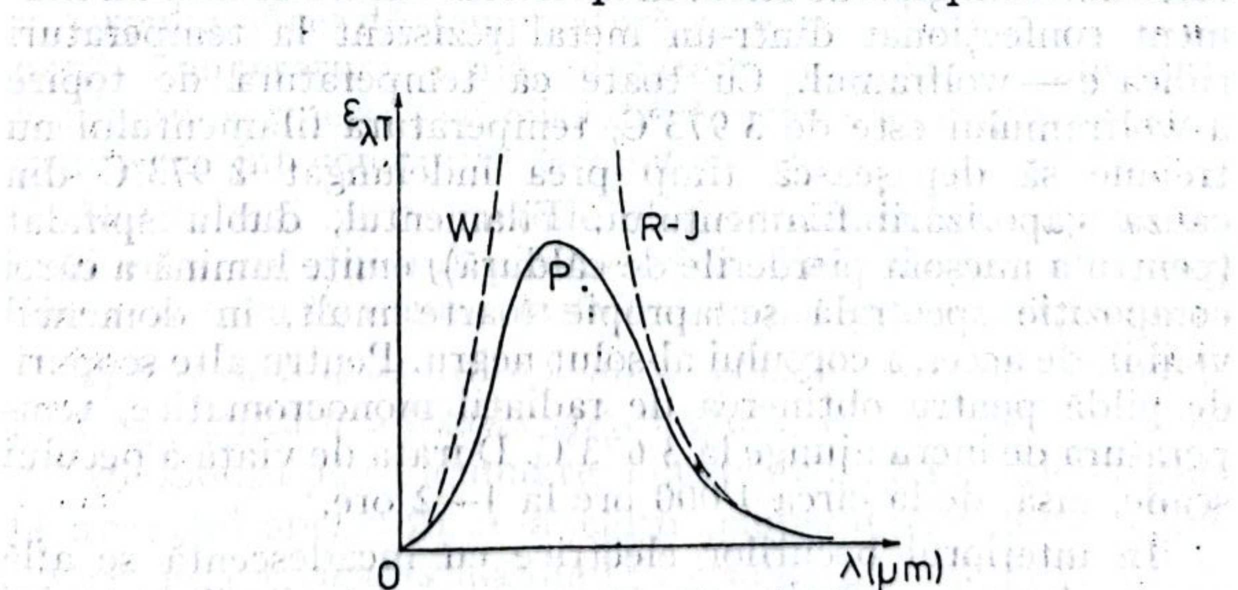


Fig. XI.5

„Anul 1900, cînd s-a formulat pentru prima dată ipoteza cuantelor de energie a însemnat nu numai primul an al unui secol nou în sens calendaristic, ci și începutul unei ere noi în dezvoltarea fizicii teoretice". Într-adevăr, pe baza ipotezei cuantelor de energie au fost emise, ulterior, *postulatele lui Bohr*, *principiul excluziunii*, și *ipoteza lui de Broglie*, ceea ce a permis explicarea emisiei și absorbției radiației de către molecule, atomi și nuclee, precum și a liniilor spectrale, linii ce corespund tranziției permisă de anumite reguli de selecție, între două nivele energetice determinate.

XI.4. Oare, rezultatele studiului corpului negru și-au găsit utilizare în practică?

Aplicațiile practice ale studiului radiației corpului negru și-au făcut apariția destul de repede. Cînd facem această afirmație ne gîndim desigur la legea radiației a lui Planck. Această lege se aplică întotdeauna unde există o sursă de radiații. Dintre multiplele sale utilizări practice vom menționa numai cîteva mai cunoscute și mai ușor inteligibile.

Surse luminoase termice. Acestea folosesc aproape exclusiv emisia de radiații a corpurilor solide. Funcționarea surselor se bazează pe unele fenomene chimice (flacără), care au loc în interiorul lor, sau de altă natură.

Pentru iluminatul încăperilor se folosesc becurile electrice cu incandescență, becurile cu vapori de mercur sau tuburile luminiscente. Becurile electrice cu incandescență sînt alcătuite dintr-un glob de sticlă în interiorul cărora se află un filament confecționat dintr-un metal rezistent la temperaturi ridicate — wolframul. Cu toate că temperatura de topire a wolframului este de 3 973°C, temperatura filamentului nu trebuie să depășească timp prea îndelungat 2 973°C din cauza vaporizării filamentului. Filamentul, dublu spiralat (pentru a micșora pierderile de căldură), emite lumină a cărei compoziție spectrală se apropie foarte mult, în domeniul vizibil, de aceea a corpului absolut negru. Pentru alte scopuri, de pildă pentru obținerea de radiații monocromatice, temperatura de lucru ajunge la 3 673°C. Durata de viață a becului scade, însă, de la circa 1 000 ore la 1—2 ore.

În interiorul becurilor electrice cu incadescență se află argon. Aceasta permite creșterea temperaturii filamentului producînd o lumină mai albă. Totodată, prezența argonului

face să scadă viteza de vaporizare a filamentului și împiedică difuzarea atomilor de metal vaporizați, din jurul filamentului, ușurînd astfel realipirea lor pe filament. Folosirea argonului a determinat renunțarea la un vid prea înalt, care avea multe inconveniente.

Becurile electrice cu incandescență au randament mic. Tuburile luminiscente însă au randamentul de 3 ori mai mare. De aceea, se tinde spre o utilizare tot mai largă a acestor corpuri de iluminat.

Becurile electrice cu puteri mai mari de 60 W se introduc, de obicei, în globuri din sticlă albă lăptoasă pentru a elimina senzațiile neplăcute și supărătoare pe care le produc asupra ochilor, sau se introduc în corpuri de sticlă translucidă de forme și culori foarte variate.

XI.5. 2 800°C? De unde știm? Cum măsurăm?

În măsurarea temperaturilor mai mari de 600°C, radiația termică și legile ei își găsesc un domeniu de aplicație foarte util. Pentru temperaturi mai mari de 2 000°C, măsurarea optică a temperaturilor este singura metodă de care dispunem. Pentru măsurarea temperaturii se compară strălucirea de radiație a corpului cu temperatură necunoscută, cu strălucirea de radiație a unui corp absolut negru. De obicei se variază temperatura corpului absolut negru pînă la o valoare la care strălucirea sa de radiație este egală cu strălucirea de radiație a corpului analizat, numită *temperatura de radiație* a corpului. Această temperatură este întotdeauna mai mică decît temperatura reală, deoarece puterea de absorbție a oricărui corp este mai mică decît a corpului negru. Pe acest principiu sînt construite *pirometrele optice*.

Există mai multe metode de determinare a temperaturii unui corp cu ajutorul pirometrelor. Vom descrie aici două dintre acestea și anume: *metoda radiației* și *metoda strălucirii*.

a) *Pirometrul de radiație totală* constă dintr-un tub avînd la o extremitate o lentilă convergentă, iar la cealaltă extremitate sudura plană a unui termocuplu (fig. XI.6). Se îndreaptă aparatul spre corpul a cărui temperatură vrem să o măsurăm, imaginea acestuia fiind proiectată pe sudura S, galvanometrul indicînd curentul electric corespunzător încălzirii produse de radiația primită de la corpul respectiv.

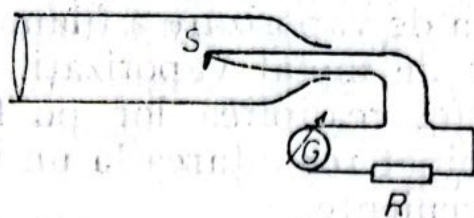


Fig. XI.6

Aparatul este etalonat cu ajutorul corpului negru la diferite temperaturi, galvanometrul indicînd astfel temperaturile reale pentru corpurile negre cercetate.

Temperatura corpurilor care nu sînt negre, măsurată cu ajutorul acestui pirometru, nu este temperatura reală a acestora, ci *temperatura de radiație.* Folosind un tabel întocmit cu ajutorul legii Stefan-Boltzmann se obține temperatura reală T, a corpului.

b) *Pirometrul cu dispariția filamentului* constă dintr-o lunetă, avînd în planul focal-obiect al obiectivului, *Ob*, filamentul unui bec electric cu incadescență, L (fig. XI.7, a, b). Becul este legat într-un circuit electric format dintr-o sursă de tensiune electromotoare, E, o rezistență variabilă, R, un galvanometru, G și un întrerupător, K. În fața ocularului *Oc* se află un filtru optic, F, care permite să ajungă în ochiul observatorului lumină monocromatică.

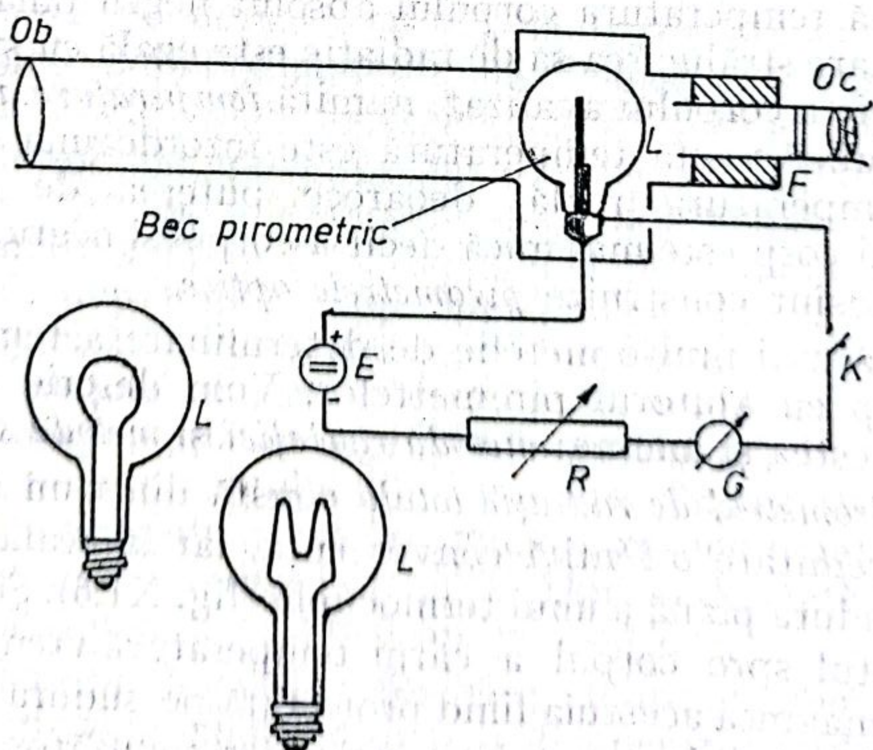


Fig. XI.7

Pentru măsurarea temperaturii se îndreaptă obiectivul pirometrului spre corpul a cărui temperatură vrem să o determinăm. Cu ajutorul reostatului, R, din circuitul electric, se potrivește intensitatea curentului prin filament în așa fel încît strălucirea acestuia să fie egală cu strălucirea imaginii corpului cercetat. În această situație imaginea filamentului, suprapusă peste aceea a corpului, dispare. De aceea, acest instrument optic este denumit *pirometru cu dispariția filamentului*.

Aparatul este etalonat în prealabil cu ajutorul corpului negru. Pentru corpuri care nu sînt negre se determină, cu acest instrument, *temperatura de strălucire*. Trecerea de la această temperatură la cea reală se face cu ajutorul unui tabel întocmit cu ajutorul unei relații de transformare care se obține din formula lui Planck.

Capitolul XII

ÎN CARE VOM EFECTUA O INCURSIUNE ÎN LUMEA CRISTALELOR

XII.1. Ce trebuie să știm despre sistemele cristaline

Substanțele solide se prezintă în natură sub două forme și anume: amorfă și cristalină. Substanțele amorfe au o comportare similară cu aceea a lichidelor, dar la temperatură obișnuită au vîscozitate extrem de mare, și anume de peste un milion de ori mai mare decît a lichidelor. Acestea sînt substanțe amorfe sau solide amorfe.

Astfel de corpuri nu au punct de topire fix, cum au solidele cristaline, monocristaline sau policristaline, ci ele mai întîi se înmoaie, devin păstoase și apoi se topesc. Cu alte cuvinte, trecerea de la faza amorfă la faza lichidă se face prin starea păstoasă, deci într-un interval de temperatură. În corpurile amorfe, particulele sale componente nu au o așezare ordonată spațial, cum este în cazul corpurilor cristaline.

Cu timpul corpurile amorfe cristalizează. De pildă, sticla veche este cristalizată. O astfel de sticlă prezintă dezavantajul că nu poate fi supusă procesului de prelucrare.

Datorită faptului că trecerea de la starea amorfă la cea cristalină decurge într-un timp foarte lung, sticlele pot fi considerate cu o extrem de bună aproximație ca substanțe stabile, caracterizate prin volum propriu, coeficient de dilatare termică ș.a.

În substanțele cristaline, atomii au o aranjare după reguli de simetrie internă. Un cristal are formă geometrică, mărginit fiind de fețe plane naturale. Cristalele au o simetrie exterioară care reflectă simetria interioară. Teoretic s-a prevăzut, iar experiențele cu radiații X au dovedit că atomii sînt așezați în nodurile unei rețele spațiale. Un exemplu în acest sens îl constituie cristalele de clorură de sodiu. Aici ionii sînt poziționați astfel: ionii de clor și cei de sodiu sînt

așezați alternînd la distanțe egale în cele trei dimensiuni spațiale (fig. XII.1). Poziționarea ionilor pozitivi și negativi este în așa fel încît cristalul, în totalitatea lui, este neutru. Ionii au o mișcare oscilatorie, adică o mișcare în jurul poziției lor de echilibru, după toate direcțiile în spațiu.

Aranjarea simetrică a ionilor, respectiv a atomilor din rețeaua cristalină corespunde la o energie potențială minimă, ceea ce conferă stabilitate cristalului.

XII.2. Ce fel de substanțe sînt cristalele?

Substanțele cristaline cu excepția celor cristalizate în sistemul cubic sînt, din punct de vedere al fizicii, *medii anizotrope*. Dar ce este un mediu anizotrop? Să considerăm, pentru exemplificare, un mediu (un corp) avînd aceleași proprietăți fizice, de exemplu același indice de refracție, în toate elementele de volum în care considerăm că am împărțit corpul (volume atît de mici încît nu mai pot fi împărțite în altele mai mici). În aceste condiții, corpul se spune că este *omogen*. Dacă în fiecare element de volum proprietățile fizice sînt identice, în cazul de față același indice de refracție, după toate direcțiile, atunci corpul este și *izotrop;* în caz contrar este *anizotrop*.

Studiindu-se corpurile solide, cele cristaline și cele amorfe, cu ajutorul radiațiilor X s-a ajuns la concluzia că la solidele cristaline există o ordine cu un înalt grad de reproductibi-

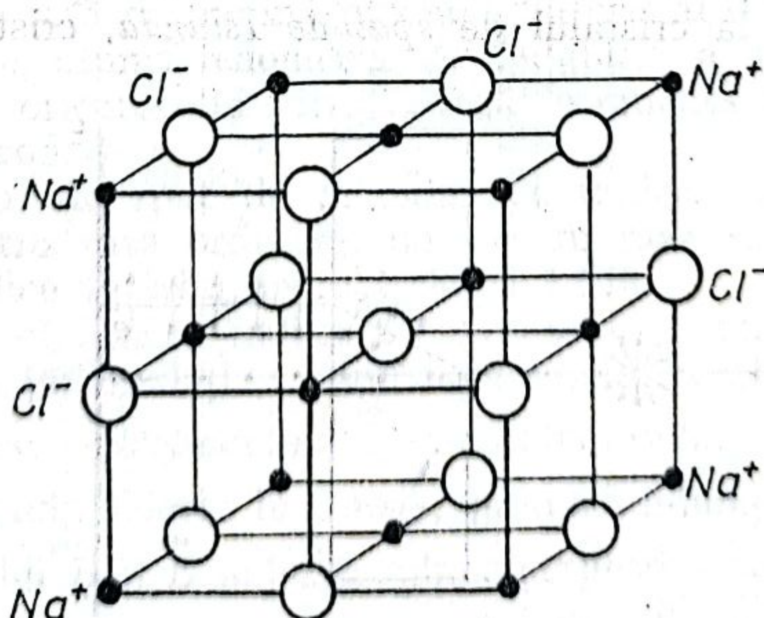


Fig. XII.1

litate, adică această ordine se reproduce fidel, ordinele fiind identice între ele. La substanțele amorfe însă această ordine nu există, ca de altfel nici la lichide; la ele există o cvasi-ordine locală.

Substanțele cristaline prezintă o proprietate foarte importantă, din punct de vedere optic și anume sînt *birefringente*, adică atunci cînd o rază de lumină pătrunde în cristal, sau într-o lamă dintr-un cristal, ea se „desface" în două raze refractate (fig. XII.2). Una dintre raze se comportă ca o rază de lumină obișnuită „ascultînd" de legea refracției luminii (legea lui Senell-Descartes) și se numește *raza ordinară, o*, iar cealaltă nu se comportă după legea refracției luminii și este denumită *rază extraordinară, e*. În timp ce raza ordinară are aceeași viteză de propagare după orice direcție în cristal, raza extraordinară are o viteză care depinde de direcția ei de propagare prin substanța cristalină. Înseamnă că celor două raze le corespund indici de refracție diferiți ai substanței cristaline. Cele expuse aici sînt valabile pentru *cristale uniaxe*, adică cristale avînd o singură axă optică.

Într-un cristal există o direcție după care cele două raze, ordinară și extraordinară, au aceeași viteză de propagare. Această direcție se numește *axă optică a cristalului* și o prezentăm printr-o săgeată dublă, pe cristal. Astfel de cristale se numesc *uniaxe*. Sînt și cristale care au două astfel de direcții. Se numesc cristale *biaxe*. În cazul cristalelor biaxe, nici una dintre raze nu „ascultă" de legea refracției luminii.

Proprietăți birefringente au fost descoperite pentru prima dată la cristalul de *spat de Islanda*, cristal uniax

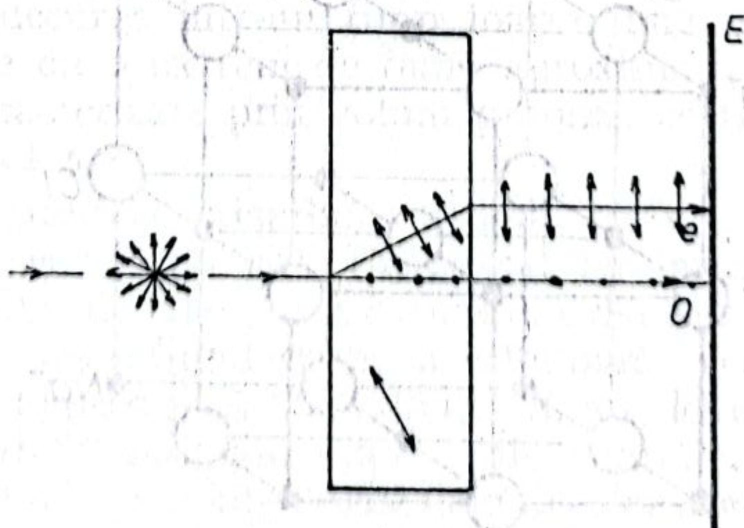


Fig. XII.2

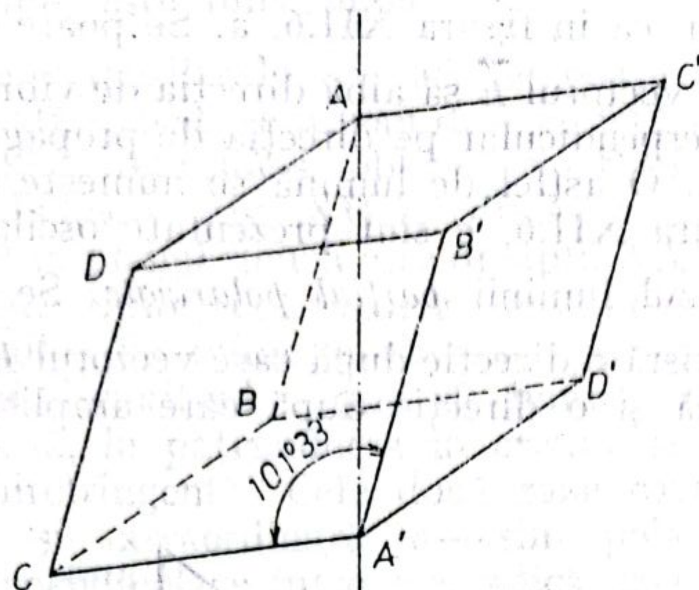


Fig. XII.3

de către Bartholinus, în 1670, și apoi de către Huygens, în 1690. Ulterior, această proprietate a fost pusă în evidență și la alte cristale.

În figura XII. 3 este arătat aspectul unui cristal de spat de Islanda. AA' se numește *axă (direcție) de simetrie ternară* a cristalului. Orice direcție paralelă cu această axă se numește *axă optică* a cristalului. După această direcție cele două raze, ordinară și extraordinară, au aceeași viteză de propagare.

La o lamă dintr-un cristal de Islanda ridicăm o normală, N, într-un punct pe fața anterioară a lamei (fig. XII.4), apoi construim un plan, care să conțină această normală și axa optică a cristalului. Acest plan se numește *planul secțiunii principale* a cristalului (P.S.P.).

Dacă o rază de lumină pătrunde în cristal după direcția axei optice, atunci fenomenul de dedublare a razei nu are loc. După oricare altă direcție însă fenomenul de birefringență se produce.

Cristalul de spat de Islanda are indicele de refracție 1,658 pentru raza ordinară, iar pentru raza extraordinară are un indice variabil, între 1,486 și 1,658.

Se știe că lumina naturală este o undă electromagnetică în care au loc oscilațiile celor două mărimi vectoriale: vectorul *intensitate cîmp electric*, $\vec{E}$, și vectorul *inducție magnetică*, $\vec{B}$ (fig. XII.5). Efecte luminoase produce numai cîmpul $\vec{E}$. Vibrațiile lui $\vec{B}$ și $\vec{E}$ se fac în plane perpendiculare între ele. Vectorul intensitatea cîmpului electric, $\vec{E}$, ocupă poziții în toate direcțiile, în plane perpendiculare pe direcția de pro-

pagare a undei, ca în figura XII.6, a. Se poate obține însă lumină în care vectorul $\vec{E}$ să aibă direcția de vibrație într-un singur plan, perpendicular pe direcția de propagare a undei (fig. XII.6, b). O astfel de lumină se numește *liniar polarizată*. În figura XII.6, c sînt prezentate oscilațiile vectorului $\vec{E}$ în cazul luminii *parțial polarizate*. Se observă că în acest caz există o direcție după care vectorul $\vec{E}$ are amplitudine maximă și o direcție după care amplitudinea este minimă.

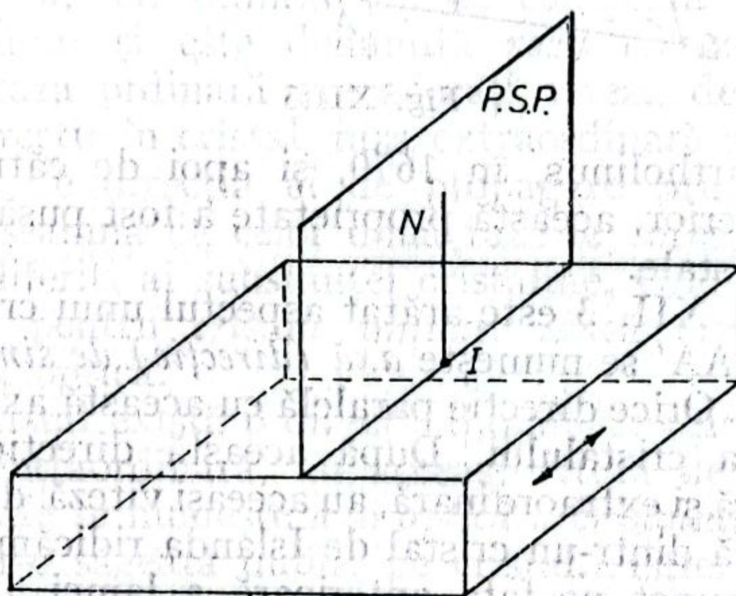


Fig. XII.4

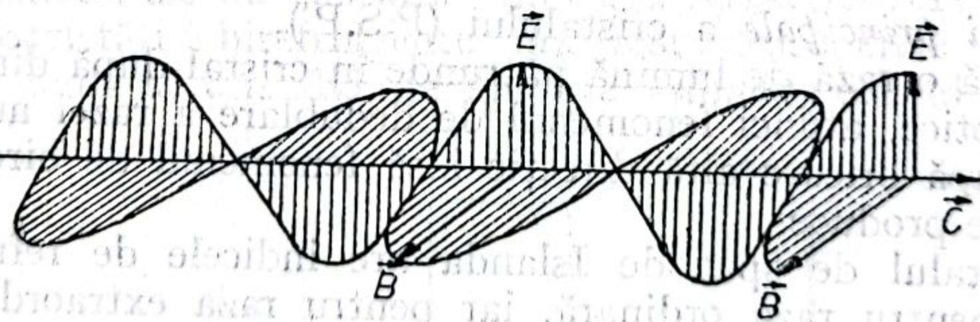


Fig. XII.5

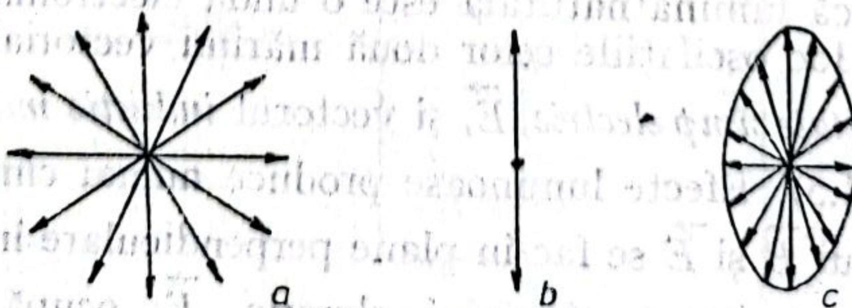


Fig. XII.6

XII.3. Nicol este imortalizat

Unul din dispozitivele cu care se poate obține lumină total polarizată și pe care îl vom descrie mai jos este *prisma lui Nicol* (1832). Aceasta se obține prin tăierea unui cristal de spat de Islanda (fig. XII.7) după un plan diagonal a cărui urmă în planul figurii este dreapta XX'. Apoi, părțile rezultate sînt lipite cu balsam de Canada — substanță fluidă cu indice de refracție absolut aproximativ egal cu al cristalului. Trimițînd o rază de lumină naturală înspre această prismă, la pătrunderea în cristal se produce fenomenul de birefringență. Cele două raze care iau naștere, ordinară, *o*, și extraordinară, *e* — sînt polarizate total și în plane perpendiculare între ele, adică planul de vibrație al vectorului $\vec{E}$ denumit *plan de polarizare*, în raza extraordinară este perpendicular pe planul de vibrație al vectorului $\vec{E}$ în raza ordinară. Direcțiile lui $\vec{E}$ sînt în planul secțiunii principale a nicolului (planul figurii în cazul de față) și reprezentate prin săgeți duble, iar în raza ordinară direcțiile lui $\vec{E}$ sînt perpendiculare pe planul secțiunii principale și reprezentate prin puncte negre.

Indicele de refracție al balsamului de Canada are valoarea cuprinsă între valoarea indicelui de refracție al cristalului pentru raza ordinară și valoarea indicelui de refracție a cristalului pentru raza extraordinară. Valoarea indicelui de refracție al balsamului de Canada este 1,550. De aceea, pentru un anumit unghi de incidență, de exemplu de 76°26′, a razei ordinare, pe suprafața de separare cristal-balsam de Canada, aceasta suferă fenomenul de reflexie totală, fiind absorbită de fața exterioară înnegrită a nicolului. Raza extraordinară, însă, trece nedeviată.

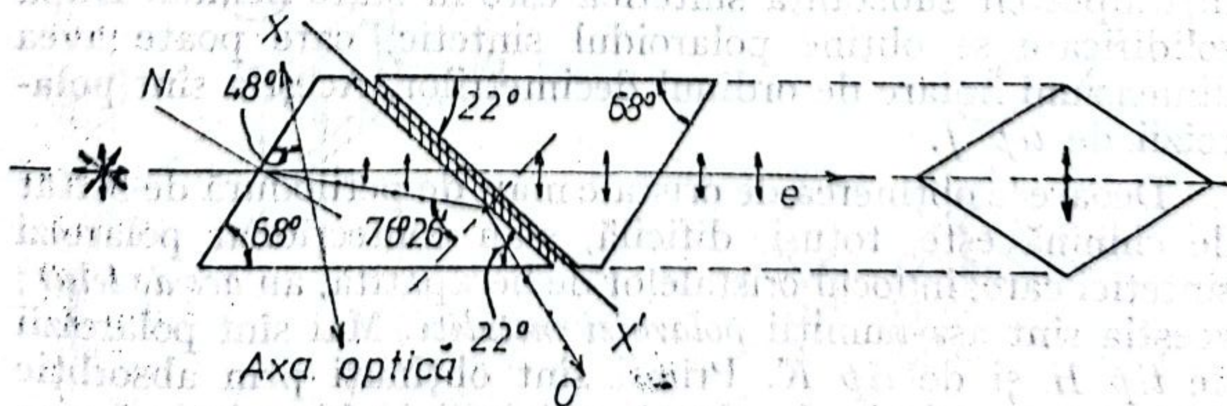


Fig. XII.7

Să considerăm doi nicoli, N_1 și N_2, așezați pe aceeași direcție și astfel ca planul secțiunii principale al unuia să fie perpendicular pe planul secțiunii principale a celuilalt; atunci, un observator privind printr-unul dintre nicoli va vedea un cîmp întunecat. Se spune că nicolii sînt *așezați la extincție* sau că sînt în opoziție *(încrucișați)*. Dacă unul dintre nicoli este rotit cu un unghi de 90° în jurul dreptei care îi „unește", atunci cele două plane ale secțiunii principale ale celor doi nicoli devin paralele; privind printr-unul din nicoli observatorul vede un cîmp luminat.

Cînd nicolii sînt la extincție, raza extraordinară emergentă polarizorului pătrunde în analizor. Vibrațiile lui $\vec{E}$ în această rază sînt perpendiculare pe planul secțiunii principale a analizorului și așa cum s-a arătat mai sus, o astfel de rază se reflectă total, fiind apoi absorbită de fețele înnegrite ale nicolului. De aceea, privind prin analizor se vede un cîmp întunecat. Toate aceste proprietăți rămîn valabile și pentru polaroizii sintetici (prisma nicol se mai numește *polaroid*).

XII.4. Ce sînt polaroizii sintetici?

Prisma nicol este un polaroid natural. Există în prezent însă o serie întreagă de polaroizi obținuți pe cale sintetică. De exemplu, polaroizi cu cristale de *herapatită*, după numele medicului englez Herapath care în 1852 a observat proprietăți polarizante la o formă cristalină aciculară de periiodură de sulfat de chinină, — denumite ulterior *cristale de herapatită*. Dimensiunile acestor cristale sînt submicroscopice. Ele sînt înglobate într-o masă plastică transparentă și prin laminare mecanică, sau cu ajutorul unui cîmp electric ori magnetic cristalele sînt orientate după o anumită direcție, în timpul cît substanța sintetică este în stare lichidă. După solidificare se obține polaroidul sintetic, care poate avea dimensiuni liniare de ordinul decimetrilor. Aceștia sînt polaroizii de *tip J*.

Deoarece obținerea de cristale mari de periiodură de sulfat de chinină este, totuși, dificilă, s-au confecționat polaroizi sintetici care, în locul cristalelor de herapatită, au *ace de telur*; aceștia sînt așa-numiții *polaroizi metalici*. Mai sînt polaroizii de *tip H* și de *tip K*. Primii sînt obținuți prin absorbție de iod într-o foaie de alcool polivinilinic bine întinsă, iar

ceilalți prin deshidratarea unei foi de alcool polivinilinic, de asemenea bine întinsă.

Polaroizii sintetici sînt utilizați în diverse domenii, de exemplu în arta fotografică. *Filtrul de polarizare* se aplică pe obiectivul aparatelor de fotografiat sau de filmat atunci cînd nu vrem să fie înregistrate pe peliculă reflexe supărătoare sau dorim să apară unele detalii pe film.

Să ne imaginăm că vrem să fotografiem niște prieteni care fac baie într-o apă curgătoare. În aceste condiții, fotografia făcută cu filtru de polarizare redă foarte bine subiectul, cu detalii, cum ar fi micile ridicături de apă sau stropii. Fără filtru de polarizare, astfel de detalii nu se pot obține. Am dat doar un exemplu!

Polaroizii se folosesc în alcătuirea fotoelasticimetrelor. Se mai folosesc în construcția farurilor și a parbrizelor unor autoturisme sau a ochelarilor pentru conducătorii auto (figura XII.8). Săgeata dublă indică axa optică a polaroidului. În acest fel (polaroizii după cum se observă sînt în opoziție), fiecare conducător auto vede foarte bine drumul luminat de farurile autovehiculului său fără să fie orbit de farurile vehiculului din fața sa. Deoarece polaroizii sintetici sînt încă costisitori, procedeul nu s-a extins.

XII.5. Fotoelasticitatea — o tehnică modernă

Este o metodă de studiere a tensiunilor interne care apar în piese mecanice în timpul funcționării mașinilor în a căror componență intră. În acest scop se folosesc modele ale pieselor și doi polaroizi sintetici, formînd aparatul denumit *foto-*

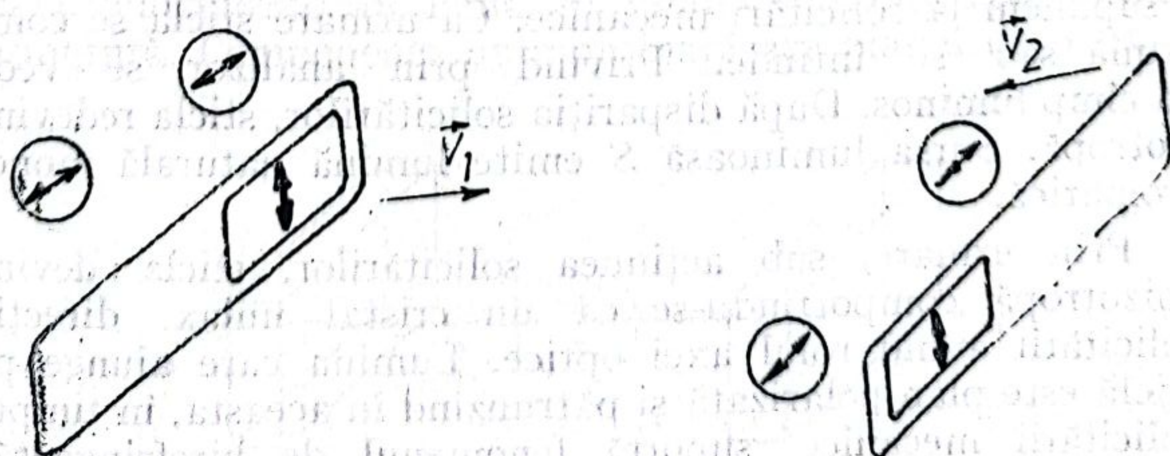


Fig. XII.8

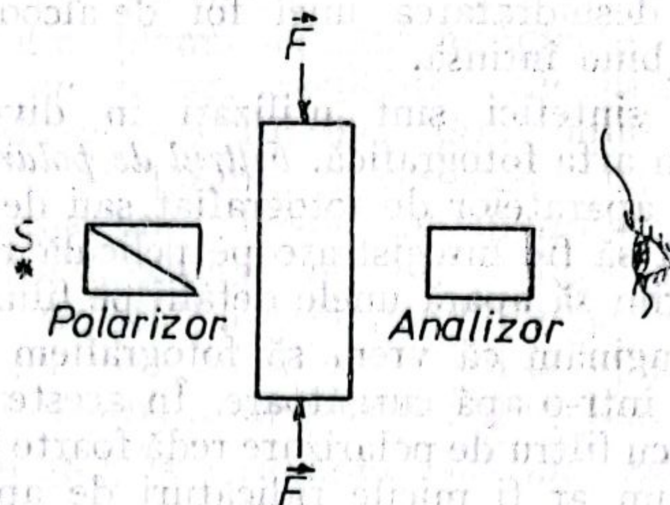


Fig. XII.9

elasticimetru. Acești polaroizi au un cîmp mare de observație; au diametrul de 2—3 decimetri și chiar mai mult.

Pentru studiu, se confecționează piesa ce interesează, din sticlă sau material sintetic transparent, la scară mică și se supune la solicitările la care piesa originală este supusă în mașina respectivă. Modelul este plasat între doi polaroizi sintetici.

Există substanțe care în mod natural sînt izotrope, de exemplu sticla, dar care sub acțiunea unor solicitări exterioare devin anizotrope. Se produce așa-numita *anizotropie accidentală*. După înlăturarea solicitărilor exterioare starea de anizotropie dispare. Direcția solicitării are rolul axei optice a substanței devenită anizotropă.

Între doi nicoli aflați în opoziție (planele secțiunilor principale sînt perpendiculare între ele; privind prin nicolul analizor, se vede un cîmp întunecat) plasăm o bucată de sticlă și se acționează asupra ei ca în figura XII.9, adică o supunem la solicitări mecanice. Ca urmare sticla se comprimă sau se întinde. Privind prin analizor se vede un cîmp luminos. După dispariția solicitărilor, sticla redevine izotropă. Sursa luminoasă *S* emite lumină naturală monocromatică.

Prin urmare, sub acțiunea solicitărilor, sticla devine anizotropă comportîndu-se ca un cristal uniax, direcția solicitării avînd rolul axei optice. Lumina care ajunge pe sticlă este plan polarizată și pătrunzînd în aceasta, în timpul solicitării mecanice, suportă fenomenul de birefringență; cele două raze, *e* și *o*, fiind polarizate în plane perpendiculare între ele. Din compunerea lor rezultă lumină eliptic sau

circular polarizată, adică extremitățile vectorului intensitate cîmp electric descriu elipse sau cercuri. Orientarea acestora nefiind preferențială, cîmpul apare luminat. Acest fenomen își găsește aplicații în fotoelasticitate.

Inițiatorul acestei metode este Mesnager (1900). El a examinat pentru întîia oară un model de pod, confecționat din sticlă.

Prin fotoelasticitate se indică soluții pe care nici un calcul matematic nu poate să le dea.

Rezultatele obținute pe cale fotoelastică se transpun apoi pieselor reale din oțel sau beton, folosind reguli de similitudine.

Metoda fotoelastică a fost introdusă în țara noastră de către prof. ing. Iosipescu, de la Institutul politehnic „Gheorghe Gheorghiu-Dej" din București, în anul 1958.

În domeniul naval, metoda a fost introdusă pentru prima dată în țara noastră, în anul 1965, de către autorul acestei cărți, împreună cu colaboratorii săi, la cargourile de 4 500 t confecționate la Șantierul Naval din Galați.

XII.6. Cristalele lichide și dicroismul

Mulți dintre cititori au auzit despre cristale lichide și au văzut calculatoare electronice și ceasuri electronice cu cristale lichide. Și fiindcă utilizarea cristalelor lichide se va extinde tot mai mult, este foarte bine să știm cîte ceva despre ele. Dar pentru a înțelege ceea ce ne-am propus, trebuie să explicăm mai întîi cîteva noțiuni preliminare.

Fie o lamă cristalină, din turmalină — cristal uniax —, tăiată paralel cu axa optică (fig. XII.10), înspre care trimitem, sub incidență normală, un fascicul de lumină naturală. Pătrunzînd în lamă se produce fenomenul de birefringență. Componenta extraordinară are planul de oscilație

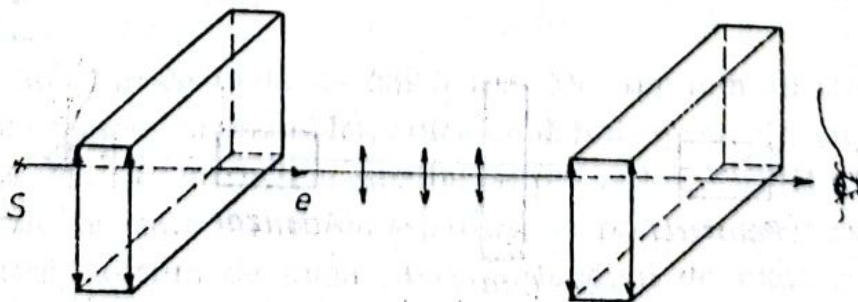


Fig. XII.10

paralel cu planul secțiunii principale, iar componenta ordinară are planul de oscilație perpendicular pe planul de oscilație al razei extraordinare. Experiența arată că componenta ordinară este absorbită total sau parțial, în funcție de grosimea lamei cristaline; este o proprietate a turmalinei. Raza emergentă este raza extraordinară. Fenomenul descris și anume *absorbția selectivă* a uneia dintre componente de către lama de turmalină se numește *dicroism* și stă la baza construcției unor polaroizi și a înțelegerii mecanismului de funcționare a cristalelor lichide.

Fenomenul de dicroism (la turmalină) a fost descoperit de către Biot și Seebeck în anul 1816. Cu toate că lama de turmalină constituie un polarizor simplu și comod, nu este utilizată în practică decît rar, deoarece fasciculul emergent este colorat (roșcat, verzui etc.) în funcție de varietatea turmalinei.

XII.7. **O experiență interesantă și cu multe aplicații**

Să ne imaginăm doi nicoli la extincție și între ei o lamă de cuarț tăiată perpendicular pe axa optică (fig. XII.11). Privind prin analizor se observă că extincția dispare luîndu-i locul un cîmp luminos. Repetăm experiența, dar cu o lamă de spat de Islanda; vom observa că extincția se menține. Faptul că în prezența lamei de cuarț extincția dispare și prin rotirea analizorului reapare, a condus la concluzia că la trecerea luminii plan polarizată (liniar polarizată) prin lamă (lumină în care oscilează vectorul intensitate cîmp electric) planul de polarizare al acesteia este rotit cu un anumit unghi. Rotind analizorul cu același unghi, reapare extincția (fig. XII.12). Fenomenul de birefringență este exclus în acest caz, deoarece razele de lumină sînt paralele cu axa optică a lamei.

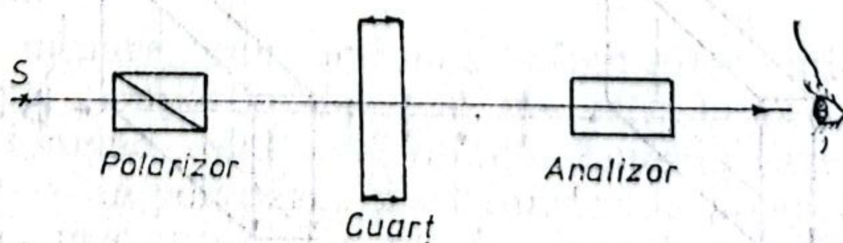


Fig. XII.11

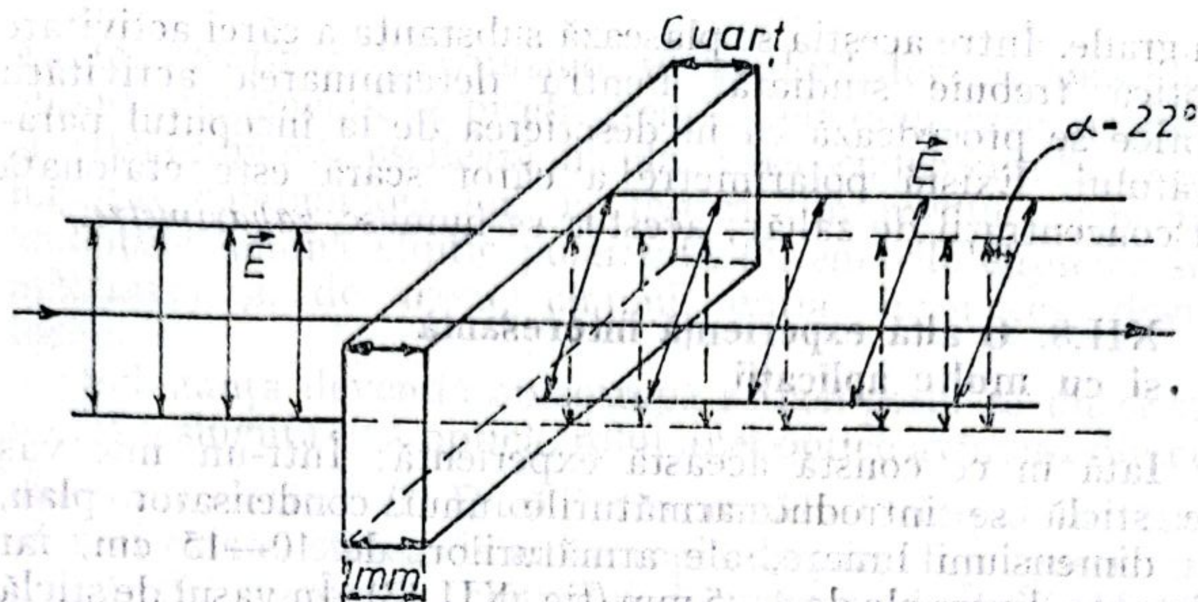


Fig. XII.12

Fenomenul acesta de rotire a planului de polarizare a luminii liniar polarizate, la trecerea ei prin lama de cuarț, a fost descoperit în anul 1811. Experiența arată că o lamă de cuarț, de 1 mm grosime, rotește planul de polarizare cu 22°, dacă se folosește lumina monocromatică a sodiului [1]. De asemenea, experimental, s-a dovedit că există două varietăți de cuarț: o varietate de cuarț rotește planul de polarizare spre dreapta și se numește *cuarț dextrogir*, iar alta care rotește planul de polarizare spre stînga — radiația luminoasă vine spre ochi de la sursa de lumină monocromatică — și se numește *cuarț levogir*. În general, substanțele care rotesc planul de polarizare se numesc *optic active*.

Folosind lumina albă și rotind analizorul apare un cîmp colorat, deoarece se produce extincția diferitelor culori, începînd cu roșu și în locul lor apar culorile complementare. Fenomenul este denumit *dispersie rotatorie*.

Aparatul cu ajutorul căruia se studiază activitatea optică a substanțelor se numește *polarimetru* și este alcătuit dintr-un polarizor și un analizor prevăzut cu o scală gradată

---

[1] Are lungime de undă de 589,3 nm. De fapt luminii monocromatice a sodiului îi corespunde un dublet, adică două linii spectrale, cu $\lambda = 589$ nm și $\lambda = 589{,}6$ nm. Dar întrucît aceste linii se pot vedea distinct numai cu aparate spectrale cu mare putere de separare, în practica spectroscopiei se ia media acestor lungimi de undă. Acestei lungimi de undă îi corespunde o linie spectrală numită *linia D* a sodiului și reprezintă cele două linii confundate.

în grade. Între aceştia se plasează substanţa a cărei activitate optică trebuie studiată. Pentru determinarea activităţii optice se procedează ca în descrierea de la începutul paragrafului. Există polarimetre a căror scară este etalonată în concentraţii de zahăr; acestea se numesc *zaharimetre*.

XII.8. O altă experienţă interesantă şi cu multe aplicaţii

Iată în ce constă această experienţă: Într-un mic vas de sticlă se introduc armăturile unui condensator plan, cu dimensiuni liniare, ale armăturilor, de 10—15 cm, iar distanţa dintre ele de 4—5 mm (fig. XII.13). În vasul de sticlă se toarnă o substanţă care în mod normal este izotropă, de exemplu nitrobenzen [1]. Condensatorul se introduce într-un circuit electric astfel ales încît tensiunea dintre armături să fie de cîteva sute de volţi (tensiune continuă) obţinută, de exemplu, de la un foarte bun redresor (cu tuburi electronice, de pildă).

De o parte şi de alta a vasului se plasează cîte o prismă nicol sau cîte un polaroid sintetic, aşezaţi în opoziţie. Sursa *S* trimite lumină monocromatică de o anume lungime de undă. Cînd se închide circuitul electric în care se află condensatorul, în spaţiul dintre armături se stabileşte un cîmp electric. Privind prin analizor, experimentatorul vede un cîmp luminat în locul celui întunecat. Aceasta ne spune că în prezenţa cîmpului electric substanţa devine anizotropă şi ca urmare, raza de lumină liniar polarizată care vine

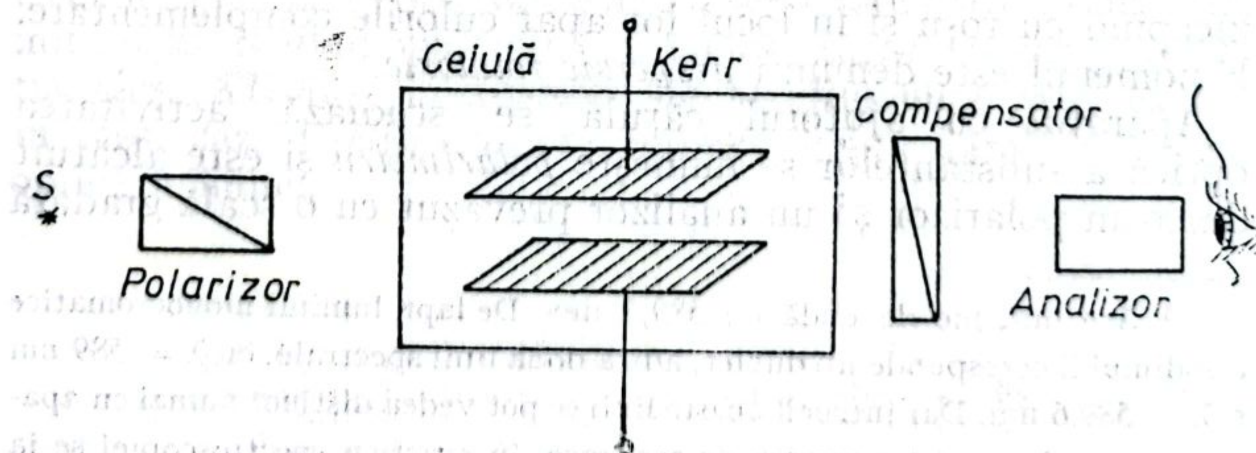


Fig. XII.13

[1] La această substanţă efectul este mai intens.

de la polarizor, pătrunzînd în mediul devenit anizotrop, suportă fenomenul de birefringență. Cele două raze, ordinară și extraordinară, oscilează în plane perpendiculare între ele, iar din compunerea lor, la ieșirea din mediul respectiv, se obține lumină eliptic polarizată (orientările elipselor sînt arbitrare) și, de aceea, cîmpul, inițial întunecos, devine luminos.

Substanța devenită anizotropă se comportă ca un cristal avînd o singură axă optică, rolul axei optice avîndu-l direcția cîmpului electric $\vec{E}$. Dacă între armături cîmpul încetează să mai existe, starea de anizotropie dispare, fapt pus în evidență de reapariția cîmpului întunecat. Fenomenul este numit *efect Kerr.* Durata stabilirii stării anizotrope sau revenirii la starea inițială este de ordinul 0,000 000 000 01 s, adică a zecea miliarda parte dintr-o secundă. De aceea, efectul Kerr se consideră lipsit de inerție. Aceasta i-a condus pe fizicieni la folosirea efectului Kerr pentru determinarea vitezei de propagare a luminii.

Efectul Kerr este folosit în televiziune, în modularea intensității fasciculelor luminoase, adică variația în timp a intensității fasciculelor luminoase, atunci cînd cîmpul electric dintre armăturile condensatorului, aflat în cuva cu lichid sau gaz, este variabil în timp.

În tehnică, efectul Kerr mai este utilizat în construcția unor obturatoare optice necesare în studiul și controlul unor fenomene variabile, avînd frecvența foarte mare. De asemenea, efectul Kerr mai este utilizat în cinematografie, la înregistrarea pistei sonore de film, precum și în componența unor laseri cu rubin.

XII.9. Ce trebuie să mai știm despre substanțele solide?

În paginile 150—152 am arătat în cîteva cuvinte aspectele sub care se prezintă corpurile solide și deosebirea dintre corpurile amorfe și corpurile cristaline. Aici vom adăuga unele proprietăți caracteristice celor două forme de substanțe solide.

În primul rînd trebuie cunoscut faptul că spre deosebire de corpurile cristaline, corpurile amorfe pot fi considerate ca niște lichide cu foarte mare vîscozitate (frecare internă mare între straturi adiacente). Altfel spus, corpurile amorfe pot fi privite ca niște lichide solide. Caracteristica cea mai

importantă care diferențiază solidele amorfe de solidele cristaline o constituie faptul că substanțele amorfe mai întîi se înmoaie devenind păstoase și apoi se topesc, din această cauză ele nu au temperatură de topire precisă. Solidele cristaline însă se topesc brusc și au, de aceea, o temperatură de topire precisă. În figura XII.14 se arată graficul de variație a temperaturii de topire cu timpul la substanțele cristaline. În punctul *A* apare prima picătură de lichid din cristal, iar în *B* tot corpul s-a topit. Se observă că în tot timpul topirii temperatura se menține constantă, segmentul *AB*. La solidificare (proces invers topirii), pentru aceeași substanță și în aceleași condiții, graficul este identic, numai că parcurgerea lui se face în sens invers. Așa fiind, solidificarea se face brusc și în tot timpul solidificării temperatura se menține constantă. De asemenea, se observă (pe grafic) că temperatura de solidificare este aceeași cu temperatura de topire.

Am spus mai sus că substanțele amorfe mai întîi se înmoaie, devenind păstoase și apoi se topesc. Să exemplificăm: asfaltul, în zile caniculare se înmoaie, sticla se înmoaie și apoi se topește, de aceea se poate prelucra, modela, cu ușurință și după dorință, prin încălzire. De asemenea, prin încălzire, smoala, ceara, se modelează ușor. Aceasta este caracteristica de bază a solidelor amorfe.

Important și interesant este faptul că unele substanțe amorfe reprezintă starea unor substanțe cristaline și invers. De exemplu, sticla reprezintă starea amorfă a cuarțului, iar cuarțul starea cristalină a sticlei, care este amorfă.

De reținut că substanțele amorfe sînt, la scara microscopică, izotrope și că unele corpuri amorfe, la anumite tempera-

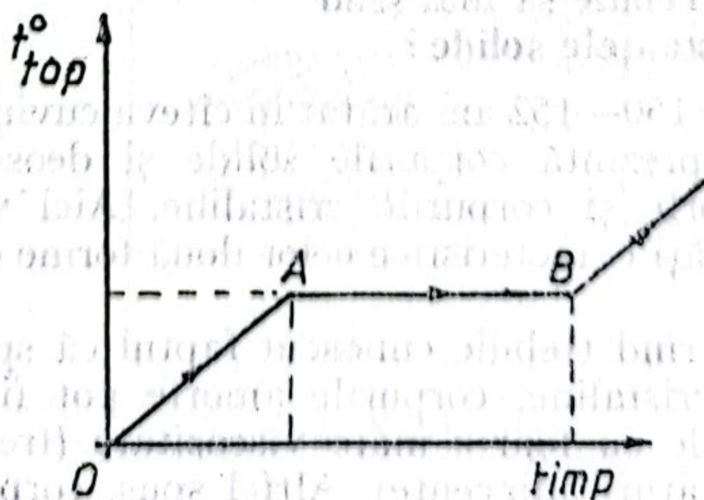


Fig. XII.14

turi, au proprietăţi foarte curioase şi interesante. De exemplu, cauciucul la temperaturi joase (scăzute) devine casant, în timp ce la temperatura mediului ambiant este elastic. Dacă se introduce un furtun de cauciuc, de exemplu, în heliu lichid (— 268°C), după ce-l scoatem şi-l lovim el se sparge ca sticla. La fel se întîmplă dacă introducem furtunul de cauciuc în zăpadă de bioxid de carbon.

Solidele amorfe au energie liberă [1] mai mare decît substanţele cristaline în aceleaşi condiţii, de aceea ele trec în stare cristalină; se cristalizează. Aceasta înseamnă că starea amorfă nu este o stare stabilă; se spune că este o stare *metastabilă*.

Starea cristalină este, însă, o stare stabilă, fiind starea către care evoluează corpurile amorfe. Trecerea de la starea amorfă la cea cristalină se face printr-un proces denumit *devitrificare*. Aceasta explică de ce unele obiecte de sticlă vechi se sparg spontan.

XII.10. Şi acum despre cristalele lichide

Am arătat mai sus că substanţele amorfe pot fi privite ca lichide solide (sau ca lichide „îngheţate"). Aşa fiind se pune întrebarea: există şi solide-lichide, adică cristale lichide? Este o situaţie similară cu aceea care s-a constatat cu peste 150 de ani în urmă cînd Oersted, prin celebra sa experienţă din anul 1820, a demonstrat că un curent electric generează un cîmp magnetic. A apărut imediat întrebarea: oare un cîmp magnetic poate genera un curent electric? Răspunsul afirmativ a fost dat de către Faraday prin celebrele experienţe care au condus la descoperirea fenomenului de inducţie electromagnetică, una dintre cele mai de seamă descoperiri din electricitate. Şi în cazul întrebării de mai sus răspunsul este afirmativ.

De reţinut că denumirea de *cristale lichide* se dă unei categorii de stări, denumite *mezomorfe* şi care constă din molecule organice aflate în apă, formînd diverse configuraţii.

---

[1] Energia liberă a unui sistem termodinamic este o funcţie de stare definită prin relaţia: $E_e = U - TS$, în care U este energia internă a sistemului (corpului) şi constă din energia lui cinetică şi potenţială, T este temperatura absolută, iar S reprezintă entropia sistemului şi este o funcţie de stare. Entropia descrie cantitativ gradul de ordine sau de dezordine asociat unei stări.

O astfel de stare mezomorfă este intermediară între starea cristalină și starea lichidă.

De remarcat faptul că E. A. Poe în cartea sa *Aventurile lui Arthur Gordon Pym* apărută în anul 1837 semnalează pentru prima dată existența unui „lichid apt de reflexe cristaline discret nuanțate și de alte remarcabile însușiri a căror descriere cere multe vorbe". Aceste fenomene, care apăreau miraculoase pentru Poe, sînt caracteristice substanțelor denumite mult mai tîrziu *mezomorfe* sau *cristale lichide*.

De-abia în anul 1854 Virchow face primele considerații cu privire la comportarea mielinei — substanță extrasă din fibrele sistemului cerebro-spinal — ca un cristal lichid. Ulterior, Mettenheimer, în anul 1875, pune în evidență, experimental, birefringența mielinei.

Substanțele mezomorfe — denumirea aparține lui Friedel, în 1922 — au fost redescoperite de către biologul Reinitzer în anul 1888 și recunoscute ca fiind cristale lichide de către Lehmann în anul 1889.

Studiul cristalelor lichide — denumite cîndva și „cristale fluide" sau „lichide cristaline" — a intrat în preocupările fizico-chimiștilor la sfîrșitul secolului trecut, dar mai ales după anul 1900, întrevăzîndu-se unele aplicații practice ale acestora. Studiul acestor substanțe mezomorfe începe să fie făcut cu ajutorul razelor X în scopul descifrării mecanismelor de structură și ordonabilitate ale acestora. S-a mai studiat difuzia luminii pe aceste substanțe, ajungîndu-se la concluzia că este necesar să se distingă două faze ale substanțelor mezomorfe. Prima fază — numită *nematică* — este caracteristică unor lichide anizotrope, lichide în care moleculele sînt orientate preferențial, după o anumită direcție, dar nepoziționate ordonat. O astfel de fază nematică se manifestă la temperaturi relativ joase și trece către starea de lichid izotrop, la temperaturi ridicate.

Cea de a doua fază — *smectică* este caracterizată prin aceea că cuprinde molecule alungite ca niște trabucuri — așezate în straturi echidistante, moleculele fiind paralele între ele (fig. XII.15) și neputînd trece dintr-un strat în altul. Un exemplu de fază smectică întîlnit adesea îl constituie peliculele de săpun.

Există cristale lichide la care moleculele au o dispunere stratificată, cu orientări care diferă de la un strat la altul cu unghiuri de 10—20°. Acestea sînt *cristale lichide colesterice* (fig. XII.16). Se observă că la aceste cristale lichide există

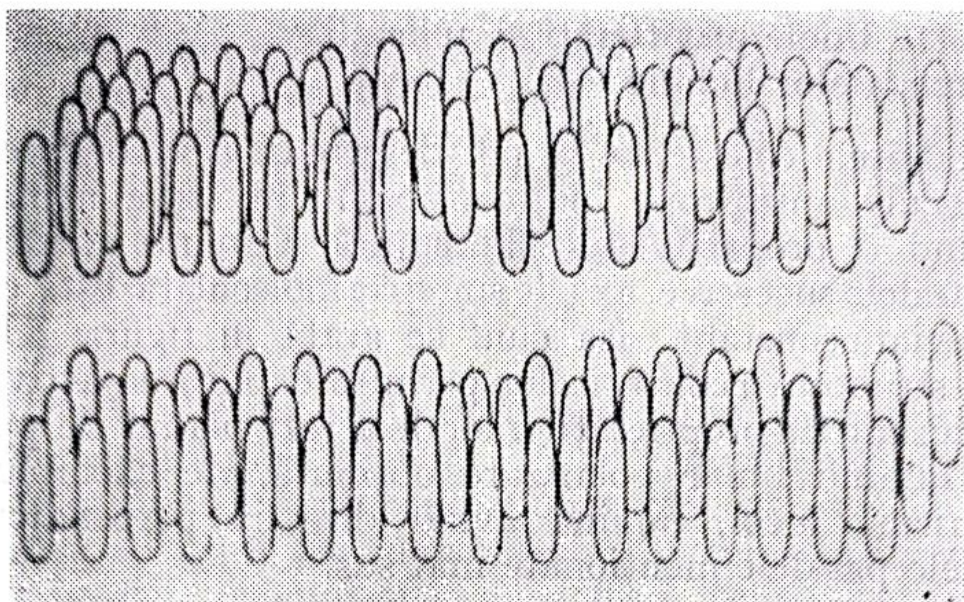


Fig. XII.15

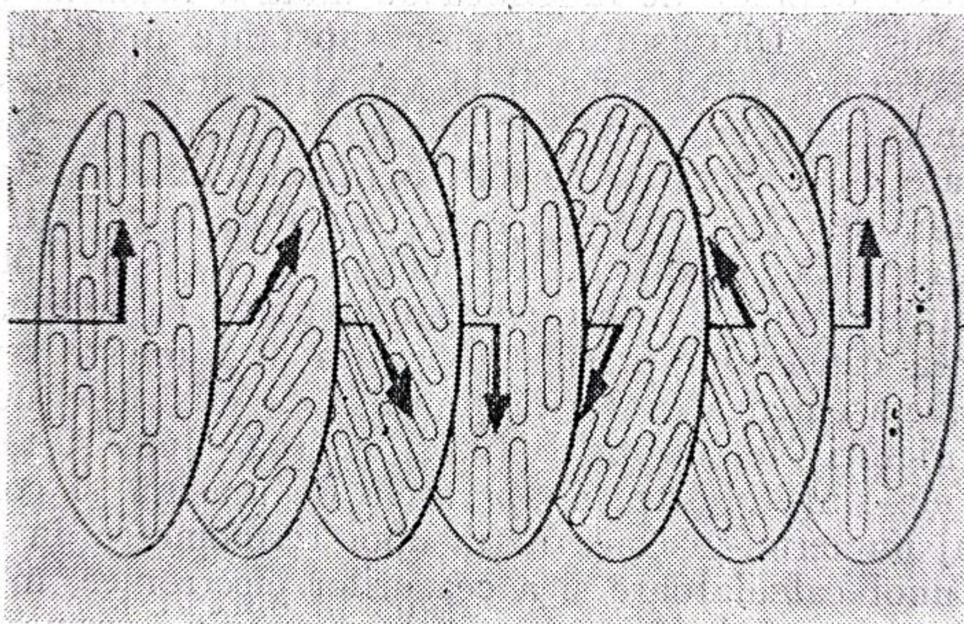


Fig. XII.16

o stratificare ca și la substanțele mezomorfe, dar, datorită orientării diferite a moleculelor în straturi, acestea (substanțele colesterice) au fluiditate ceva mai mare decît substanțele smectice. Smecticele se aseamănă cu lichidele, în privința ușurinței de curgere, dar se deosebesc de acestea, prin structură.

Ținînd seama de cele arătate mai sus, Herman încearcă, în anul 1931, o clasificare a substanțelor în: *cristalină, amorfă și mezomorfă.*

XII.11. Unele proprietăți și aplicații ale cristalelor lichide

Substanțele colesterice se pot descrie ca o stare smectică de molecule anizotrope bidimensionale în stare nematică, dar avînd o proprietate suplimentară și anume aceea că în plane paralele succesive, axa de simetrie moleculară este cu un unghi deviată constant, așa cum se arată în figura XII.16. Această structură a colestricelor permite explicarea activității lor optice, adică a proprietăților lor de a roti planul de polarizare a luminii liniar polarizate obținută, de exemplu, de la o prismă nicol, lumina avînd direcția perpendiculară pe planele paralele menționate mai sus.

Dacă un cristal colesteric este iluminat cu lumină albă, el apare colorat, culorile prin reflexie fiind diferite de culorile care apar prin transmisie, datorită faptului că fenomenul de dicroism depinde de lungimea de undă a radiației luminoase folosită. Dicroismul acestor substanțe mai depinde de temperatură, fiind sensibil la variații mici ale acesteia, de intensitatea cîmpului electric și orientarea vectorului intensitate cîmp electric, de unii parametri externi. Faptul că substanțele colesterice sînt foarte sensibile la variații mici de temperatură, modificîndu-și culoarea, ele sînt folosite în evidențierea unor boli ale organismului uman, ca de exemplu depistarea cancerului precoce (operația se numește termografie). De asemenea, datorită faptului că cristalele lichide au proprietăți electro-optice (v. și p. 162—163) și termo-optice, ele sînt folosite în aparatele de măsură și control cu afișaj numeric, în construcția unor termometre, în construcția unor calculatoare și a ceasurilor electronice, în confecționarea unor jucării. Sînt, de exemplu, termometre de cameră cu cristale lichide (fig. XII.17) la care, datorită faptului că acestea își modifică culoarea (ca urmare a proprietăților termo-optice) în funcție de temperatura camerei, apare cu maxim de vizibilitate temperatura existentă și în stînga acestei valori cu slabă vizibilitate o temperatură imediat

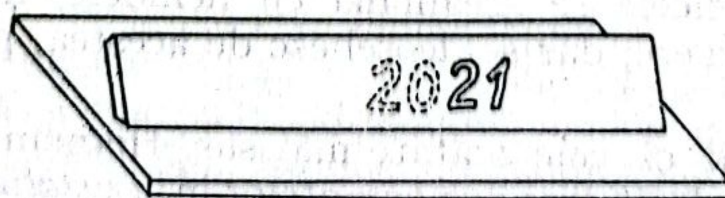


Fig. XII.17

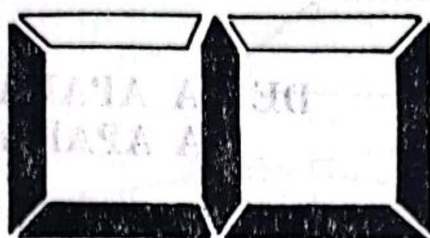


Fig. XII.18

mai mică. Pe măsură ce temperatura mediului ambiant crește, apare mai vizibilă o altă temperatură corespunzătoare mediului. S-au confecționat plăcuțe care la o simplă apăsare își schimbă culoarea și sînt folosite în construcția unor jucării, precum și a unor teste pentru verificarea stărilor psihice.

Cristalele lichide colesterice mai au aplicații la tratarea și controlul „oboselii" metalelor folosite în structura unor construcții, poduri, motoare. De asemenea, cristalele lichide sînt folosite ca pelicule detectoare, de exemplu, în scopul trasării unor hărți geografice din avion (pe baza sensibilității lor la radiațiile infraroșii) precum și în alte domenii de activitate.

Folosirea cristalelor lichide în construcția ceasurilor electronice (cu afișare mezofazică) au făcut ca acestea să aibă un preț mult mai mic decît ceasurile clasice, avînd nevoie de un mecanism mai simplu. În plus, nu sînt afectate de variațiile de temperatură și nici de îmbătrînirea cristalelor lichide.

Cele șapte elemente care constituie structura cifrelor în afișarea numerică (fig. XII.18) sînt acționate selectiv. Aceasta se bazează pe unele particularități în comportarea cristalelor lichide în cîmp electric.

Cristalele lichide prezintă avantaje enorme în comparație cu tuburile nixie sau diodele emițătoare de lumină, din care cauză folosirea lor s-a extins și se extinde mereu. În plus, consumul de energie în acest caz este neglijabil.

DE LA APARATUL FOTOGRAFIC LA APARATUL HOLOGRAFIC

XIII.1. Cîte ceva despre aparatul fotografic și fotografie

Cu peste două mii de ani în urmă, Aristotel observase că atunci cînd într-o cameră întunecată pătrund, printr-un orificiu cît un vîrf de ac, raze de lumină provenind de la o sursă de lumină, se formează pe peretele opus orificiului o imagine neclară a sursei. Explicația fenomenului a fost dată mult mai tîrziu.

Celebrul pictor și savant italian Leonardo da Vinci a lăsat printre însemnările sale o explicație a fenomenului formării imaginii în camera obscură, pe baza propagării razelor de lumină în linie dreaptă, în medii omogene. Explicația lui Da Vinci este corectă.

În secolul al XI-lea, Ibn al Haitham, cunoscut și sub numele de Alhazen, cercetător arab, studiază anatomia ochiului, o descrie, concluzionînd că razele de lumină vin la ochi, nu pleacă de la ochi cum credeau înaintașii săi. După schema optică a ochiului (fig. XIII.1) și a camerei obscure (fig. XIII.2) s-a ajuns la construcția aparatului fotografic de azi, a cărui vedere generală nu o mai dăm, deoarece sîntem convinși că toți cititorii au văzut un aparat fotografic; în schimb prezentăm în figura XIII.3 mersul razelor de lumină prin lentila obiectiv a aparatului. Rolul acestei lentile (deci a obiectivului) este, în primul rînd, acela

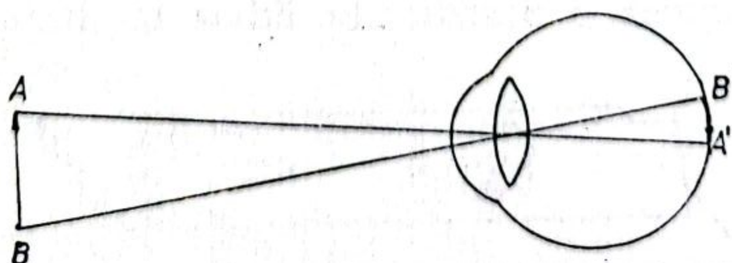


Fig. XIII.1

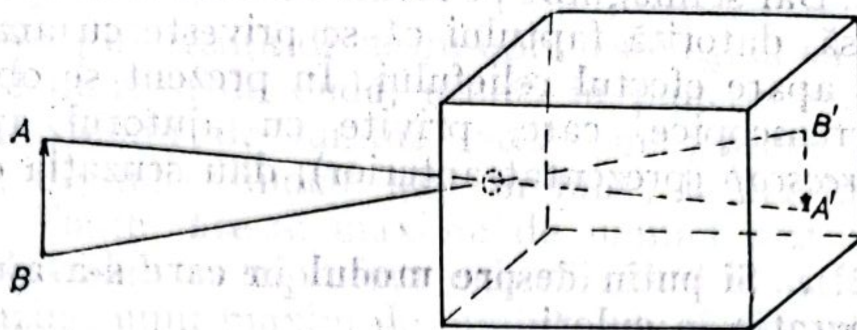


Fig. XIII.2

de a reduce dimensiunile aparatului și a face să ajungă mai multă lumină pe film. Privind figura XIII.3 observăm că imaginile punctelor *A*, *B* și *C* situate în spațiu nu apar toate pe filmul sau placa fotografică. Mai exact, pe film (placă) apare clar punctul *B*, iar celelalte apar sub forma unor pete circulare de lumină care au diametrul cu atît mai mic cu cît fasciculul de lumină este mai îngust (v. și fig. XIII.2). De aceea, obiectivul aparatului de fotografiat are atașat o diafragmă reglabilă. Cu cît diafragma este mai mică imaginea subiectului fotografiat este mai clară; timpul de expunere, însă, este mai lung, deoarece pătrunde mai puțină lumină în aparat. Prin fotografiere obișnuită, cu orice aparat fotografic, se obțin imagini plane chiar dacă subiectele fotografiate sînt în trei dimensiuni. Totuși, noi avem senzația de profunzime și putem să stabilim pozițiile subiectului, grație efectului de perspectivă și alternanțelor umbrelor și luminilor.

Am arătat mai sus asemănarea dintre aparatul de fotografiat și ochiul omenesc și că imaginile pe film sau placă

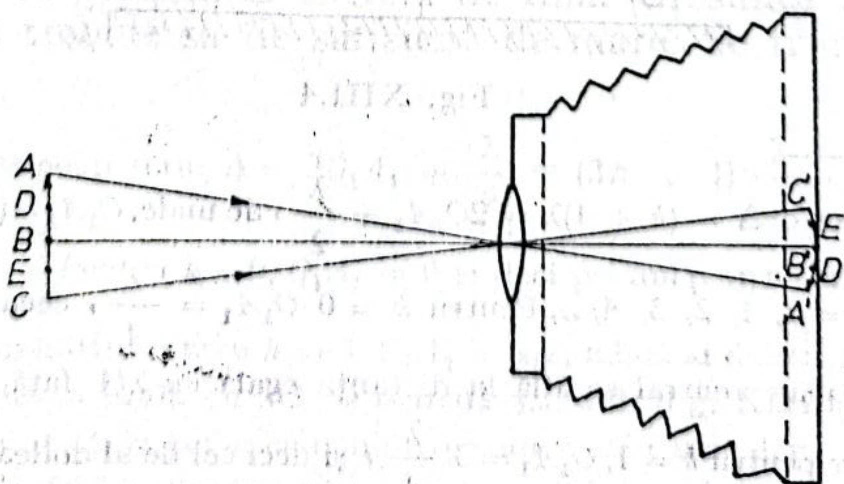


Fig. XIII.3

sînt plane. Dar și imaginile pe retina ochiului sînt aproximativ plane. Însă, datorită faptului că se privește cu ambii ochi, simultan, apare efectul reliefului. În prezent se obțin fotografii stereoscopice, care, privite cu ajutorul aparatului numit *stereoscop* (prezentat anterior), dau senzația de relief.

XIII.2. ... Și puțin despre modul în care s-a ajuns la fotografia în culori

Să considerăm o oglindă plană M (fig. XIII.4) și înspre ea să trimitem un fascicul de lumină paralel și monocromatic (din punct de vedere ondulatoriu razele de lumină reprezintă liniile drepte imaginare trasate în sensul propagării undelor). În cazul de față suprafețele de undă sînt plane, paralele între ele și paralele cu suprafața oglinzii. Undele corespunzătoare razelor reflectate se vor întîlni cu undele corespunzătoare razelor incidente și vor da naștere fenomenului de interferență cu unde staționare. Așa, de pildă, raza $I\ A_1O_1A_1$ care este reflectată în O_1, interferă în A_1 cu raza incidentă IA_1. Diferența de drum optic dintre drumurile parcurse de aceste raze (dintre undele corespunzătoare acestor raze) este $2O_1A_1$, deoarece pînă în punctul A_1 unda incidentă străbate de două ori distanța O_1A_1: o dată cînd ajunge la oglindă și o dată după reflexia pe oglindă [1]. În cazul

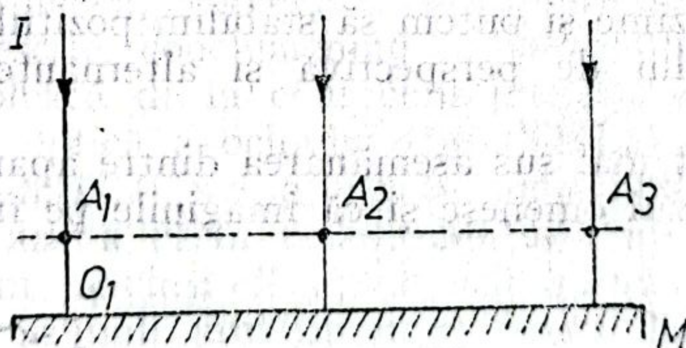


Fig. XIII.4

[1] Se scrie, $\Delta = (k + 1)\lambda = 2O_1A_1 + \frac{\lambda}{2}$, de unde, $O_1A_1 = (2k + 1)\ \frac{\lambda}{4}$, în care $k = 0,\ 1,\ 2,\ 3,\ 4, \ldots$ Pentru $k = 0$, $O_1A_1 = \frac{\lambda}{4}$, ceea ce înseamnă că primul plan ventral se află la distanța egală cu $\lambda/4$ față de suprafața oglinzii, iar pentru $k = 1$, $O_1A_1 = 3\ \frac{\lambda}{4}$, și deci cel de al doilea plan ventral se găsește la distanța egală cu $3\ \lambda/4$ față de oglindă, ș.a.m.d. (fig. XIII.5).

în care în A_1 diferența de drum optic este egală cu un număr întreg de lungimi de undă, atunci în punctul respectiv va fi un maximum de lumină, adică intensitate luminoasă maximă, deoarece undele sînt în fază; la fel în punctele A_2, A_3. Toate aceste maxime de lumină sînt situate pe un plan paralel cu suprafața oglinzii M. Un astfel de plan corespunzînd unui maxim de lumină este numit *plan ventral* (știm că undele staționare cuprind ventre și noduri și că ventrele corespund la amplitudini maxime, iar nodurile la amplitudini nule). În punctele în care diferența de drum optic este un număr impar de semilungimi de undă vor fi minime de lumină (intensitate luminoasă nulă). Toate aceste puncte se vor găsi pe un plan paralel cu suprafața oglinzii și deci paralel și cu planul ventral. Un astfel de plan se numește *plan nodal*. Primul plan ventral se găsește la o distanță egală cu un sfert de lungime de undă față de suprafața oglinzii, iar primul plan nodal este situat pe suprafața oglinzii. [1] Al doilea plan ventral se află la distanța egală cu 3 sferturi de lungime de undă față de suprafața oglinzii, în timp ce al doilea plan nodal se află la distanță de două sferturi de lungime de undă față de suprafața oglinzii ș.a.m.d. În figura XIII.5 se arată intuitiv dispunerea acestor planuri ventrale și nodale. Între două planuri ventrale succesive și între două planuri nodale succesive este o distanță egală cu o jumătate de lungime de undă, iar între planuri nodale și planuri ventrale succesive distanța este de un sfert de lungime de undă.

Se consideră experiența modificată, în sensul că oglinda M se acoperă cu un strat de emulsie fotografică de clorură de argint, cu granulația extrem de fină. Grosimea stratului de emulsie trebuie să fie suficient de mare. Se trimite apoi

---

[1] Și aici se poate scrie, $\Delta = 2O_1A_1 + \frac{\lambda}{2} = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}$, de unde, $O_1A_1 = k\frac{\lambda}{2}$, Pentru $k = 0$, $O_1A_1 = 0$ și deci primul plan nodal se găsește pe suprafața oglinzii. Pentru $k = 1$, $O_1A_1 = \lambda/2$, adică al doilea plan nodal se află la distanța egală cu $\lambda/2$ de oglindă ș.a.m.d. (fig. XIII.5). (Se are în vedere faptul că la reflexia luminii pe un mediu mai dens din punct de vedere optic, față de mediul prin care a trecut, se produce un salt de fază — o pierdere de fază — de π și corespunzător o pierdere de drum optic de $\lambda/2$. Acest $\lambda/2$ se adaugă la diferența de drum optic de $2O_1A_1$.)

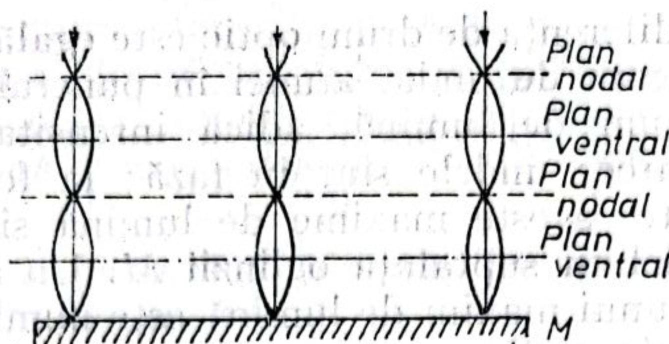


Fig. XIII.5

înspre stratul de emulsie un fascicul de lumină monocromatică de o anumită lungime de undă, normal pe strat, ca și în experiența precedentă (fig. XIII.5). După o expunere scurtă, bine stabilită, se developează placa fotografică astfel obținută. Privind lateral cu un microscop se observă o distribuție spațială de straturi înnegrite și neînnegrite. Primele sînt planuri ventrale și ele se comportă ca niște lamele semireflectante (parțial reflectante). Celelalte straturi reprezintă planuri nodale și în ele argintul din clorură de argint nu este redus ca în primele, deoarece intensitatea luminoasă în ele a fost nulă.

Să presupunem, acum, că se trimite înspre această placă fotografică un fascicul de lumină albă, care cuprinde și radiația cu lungimea de undă folosită anterior (fig. XIII.6). Lamelele semireflectante, de care vorbeam, vor reflecta această radiație și toate razele cu lungimea de undă folosită anterior. Pentru această lungime de undă, prezentă în lumina incidentă, lumina reflectată de toate lamelele este în con-

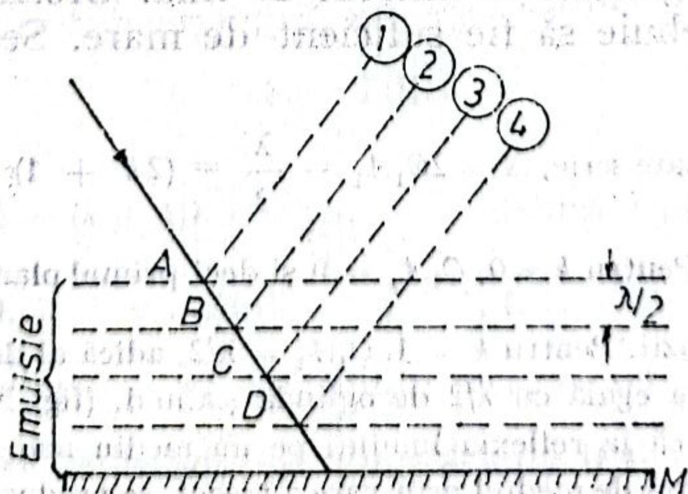


Fig. XIII.6

cordanță de fază. Într-adevăr, diferența de drum optic între raza (1) reflectată în A și raza (2) reflectată în B este $2\,AB = \frac{\lambda}{2}$ sau λ. Tot așa pentru alte lamele. Deci se va obține un maxim de lumină reflectată pentru lungimea de undă λ, dar numai pentru această lungime de undă. Pentru o altă lungime de undă, λ', diferită de prima, diferența de drum optic $2\,AB$ va fi diferită de $\lambda/2$ și de aceea vom avea, astfel, un mare număr de unde reflectate ale căror diferențe de drum optic iau un mare număr de valori diferite. În final, aceste unde se distrug și placa iluminată cu lumină albă nu reflectă, practic, decît lumina monocromatică de lungime de undă λ cu care a fost impresionată, inițial, placa.

Acest procedeu a fost aplicat în fotografia color pentru întîia oară de către fizicianul francez G. Lippmann și este folosit și în holografia în culori, așa cum vom vedea la momentul oportun.

XIII.3. **Holografia optică**

Lumina este o undă electromagnetică și transportă energie, prezentînd totodată două caracteristici importante: *amplitudine* și *fază*. Lumina poate fi mai intensă sau mai puțin intensă, iar intensitatea ei este direct proporțională cu pătratul amplitudinii.

Cînd se fotografiază un obiect, pe placa fotografică sau pe film se înregistrează intensitatea luminii care provine de la obiectul respectiv. Cum intensitatea luminii este direct proporțională cu pătratul amplitudinii undei electromagnetice, spunem că pe placa fotografică sau pe film se înregistrează amplitudinea undei electromagnetice din domeniul vizibil al spectrului undelor electromagnetice, adică amplitudinea undelor luminoase. Stratul fotosensibil de pe placă sau de pe film, ca și retina ochiului, este sensibil la intensitatea luminii și la culoarea acesteia. Amplitudinea undelor luminoase „transportă" însă numai unele informații, unele detalii de la subiectul fotografiat și, de aceea, imaginea de de pe placă sau film este într-un singur plan și nu conține toate detaliile subiectului. Pentru ca pe placa fotografică sau pe film să se înregistreze toate detaliile subiectului, trebuie ca, pe lîngă amplitudine, să fie înregistrată și faza undei luminoase. Această mărime, faza, dă posibilitatea să

se stabilească distanța dintre obiectele ce ne interesează. Desigur că cititorul își dă seama de importanța acestei mărimi în cazul reconstituirii imaginilor în relief. O astfel de înregistrare completă a informațiilor despre subiectul fotografiat se realizează prin metode holografice.

Așadar, holografia reprezintă o nouă metodă de înregistrare a imaginilor fotografice în relief, fără a folosi vreun obiectiv fotografic. Prin holografie se înregistrează, pe o placă fotografică, cele două mărimi caracteristice ale undelor luminoase; *amplitudinea și faza*; deci informațiile despre subiectul holografiat sînt complete. De altfel, denumirea de holografie derivă de la cuvintele grecești: *holos* care înseamnă *întreg* și *grafein* care înseamnă *scriere, înregistrare.* Placa fotografică ce conține înregistrarea imaginii subiectului holografiat se numește *hologramă*.

Holografia a fost descoperită de către Dennis Gabor în 1948. Pe atunci el lucra în laboratoarele companiei „Metropolitan Vichers" din Marea Britanie. Dar, numai după 5 ani preocupările pentru dezvoltarea holografiei fuseseră abandonate pînă cînd, în anul 1962, fizicianul sovietic Denisiuk preia cercetările îmbinînd holografia cu fotografia în culori, creînd cinematograful panoramic în culori. Un an mai tîrziu, în 1963, interesul cercetărilor pentru holografie crește, grație apariției lucrărilor lui Emmett N. Leith și Juris Upatnieks, care au realizat cu ajutorul unui laser cu heliu-neon o primă hologramă de calitate. Ei lucrau în laboratoarele Universității din Michigan. Iată ce spunea creatorul holografiei, Dennis Gabor, despre acest eveniment: „Reușita lor (a lui Leith și Upatnieks n.n.) nu se datorează doar descoperirii laserului, ci și, în egală măsură, îndelungatei pregătiri teoretice a problemei de către N. Leith, începută încă din anul 1955. Pe atunci nu știusem acest lucru, ca de altfel întreaga lume, deoarece Leith și colaboratorii săi, Cutrona, Palermo, Parcello și Vivian, aplicaseră ideile lor în primul rînd în probleme de „radar lateral", pe atunci secret militar. Acest radar nu este altceva decît un holograf bidimensional de unde electromagnetice, extins prin holografie electronică".

Hologramele dau posibilitatea înregistrării mai multor unde succesive în timp, pe o aceeași emulsie fotografică. La restituire are loc un fenomen de amplificare a amplitudinii și fazei. Aceasta constituie o proprietate remarcabilă a hologramelor.

Să presupunem că privim dintr-o margine a unei ferestre (de exemplu din stînga noastră) în afară. Obiectele ne vor apare cu o anumită dispoziție față de noi în spațiu. Privind apoi din altă margine a ferestrei (din dreapta noastră), aceleași obiecte vor apare cu o altă aranjare în spațiu. Informațiile de la obiectele din afară trec prin planul ferestrei sub formă de unde luminoase, formîndu-se pe retină o imagine. Dar, informațiile care au ajuns pe retină, la un moment dat, se pot obține din informațiile ajunse de la sursă, la un moment anterior, în alt loc, cum ar fi, de exemplu, în planul ferestrei. Înseamnă că dacă am putea „îngheța" informațiile în planul ferestrei, de pildă pe o placă fotografică, și am suprima obiectul, am putea vedea obiectul oricînd ca și cum acesta ar fi prezent. Pentru aceasta ar trebui să dispunem de o metodă care să permită la un moment dat, „dezghețarea" informațiilor. Aceasta se realizează prin metode holografice, metode care permit, așa cum spuneam mai înainte, înregistrarea atît a amplitudinii cît și a fazei unei unde luminoase. În acest fel nu se pierde nimic din informațiile despre obiect. În aceasta constă holografia.

XIII.4. Cum se realizează o hologramă optică și cum se reconstituie imaginea obiectului?

Să presupunem acum un obiect, *O*, iluminat de către un laser, £ și un punct *P* în care ajung radiațiile difuzate de obiectul *O*, figura XIII.7. Fie un plan virtual, *H*, între obiect și punctul *P*. Putem spune că în *P* ajung radiațiile care provin de la planul *H*, sau că în *P* ajung radiații de la obiectul *O*.

Pentru înregistrarea unei holograme, însă, este absolut necesar să existe pe lîngă fasciculul luminos difuzat de obiectul a cărui înregistrare dorim să o facem, și un fascicul coerent și monocromatic, care constituie așa-numitul *fond coerent de adiție* sau *undă de referință*, sau încă, *purtător*. În figura XIII.8 se arată un montaj cu ajutorul căruia se poate realiza fondul coerent de adiție. Se observă că fasciculul luminos care provine de la sursa £ este împărțit în două fascicule, (1) și (2), de către lama semitransparentă *L*. Unda (1) iluminează obiectul, *O*, iar unda de referință (2) iluminează direct placa fotografică, *H*. Această undă de referință constituie fondul coerent de adiție, denumit și purtător, așa cum

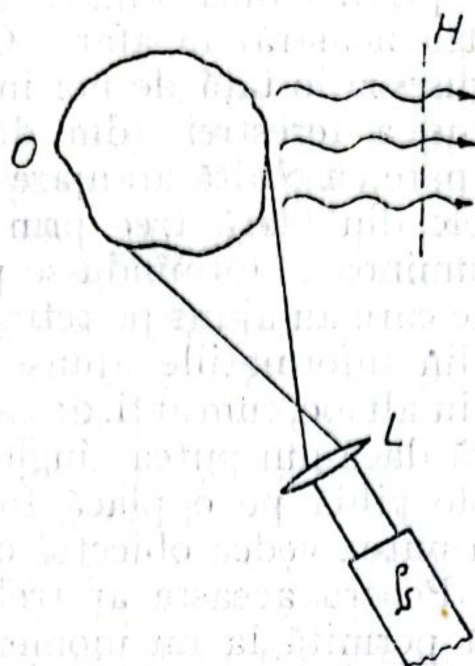


Fig. XIII.7

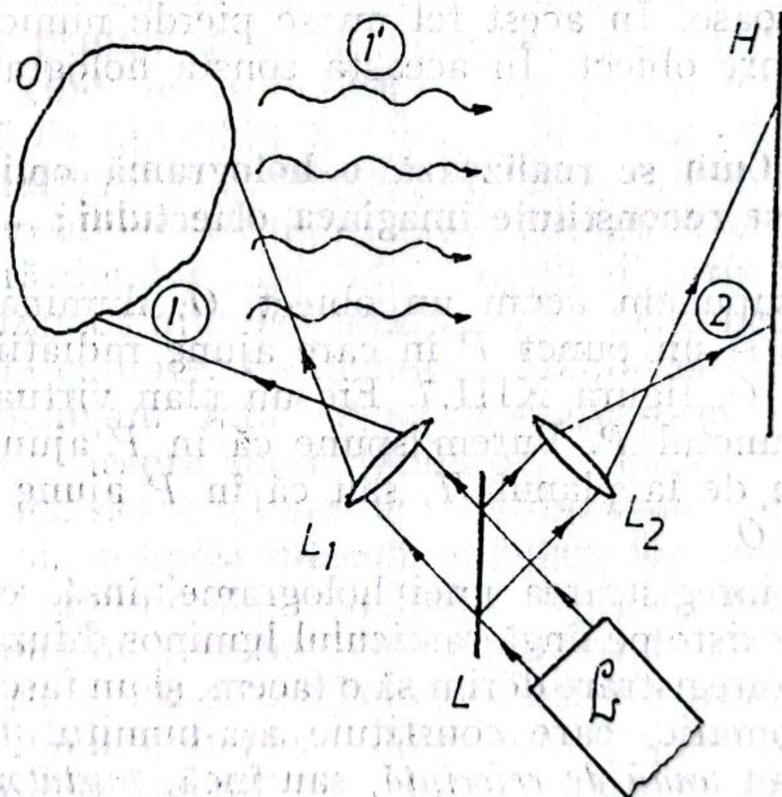


Fig. XIII.8

am arătat mai sus. Unda de referință (2) interferă cu unda (1) difuzată de obiectul *O*. Pe placa fotografică, *H*, se înregistrează astfel un fenomen de interferență, concretizat printr-un ansamblu de franje de interferență; această înregistrare reprezintă *holograma*.

Așadar, pentru a înregistra imaginea unui obiect prin holografiere trebuie să existe obligatoriu două fascicule de lumină: unul provenind de la obiectul ce trebuie holografiat, iar cel de-al doilea fascicul poate proveni de la o altă sursă, dar trebuie să fie neapărat un fascicul coerent, deci să provină tot de la un laser.

De exemplu, să zicem că vrem să obținem holograma unui obiect oarecare, transparent. Putem folosi în acest scop o instalație ca în figura XIII.9. Se observă că fasciculul îngust provenit de la un laser, $\mathcal{L}$, trece printr-o lentilă, L_1, o diafragmă, D, și apoi o lentilă, L_2, obținîndu-se la ieșirea din aceasta un fascicul telecentric [1] larg. În calea acestui fascicul se așază obiectul și o prismă. O parte din fascicul trece prin prismă fiind deviat de către aceasta cu un unghi θ și constituie fasciculul de referință. Acesta întîlnindu-se cu fasciculul difractat de obiect dă naștere la un fenomen de interferență, care este înregistrat pe placa fotografică H.

Dacă obiectul este opac, se poate folosi o instalație ca în figura XIII.10. Și aici, cu ajutorul lentilei L_2 se obține un fascicul larg de lumină, care, parțial este reflectat de oglinda O și parțial este difuzat de obiect. După înregistrare pe placa fotografică, aceasta se developează, obținîndu-se astfel holograma.

Se observă, în ambele cazuri, că pentru înregistrare *nu* se folosește *obiectivul fotografic*.

Există foarte multe procedee de înregistrare a hologramelor, dar asupra acestora nu putem insista aici. Pînă acum ne-am ocupat de înregistrarea hologramelor și am prezentat două montaje simple. Nu am spus, însă, nimic despre aspectul hologramei, a plăcii fotografice pe care s-a făcut înregistrarea.

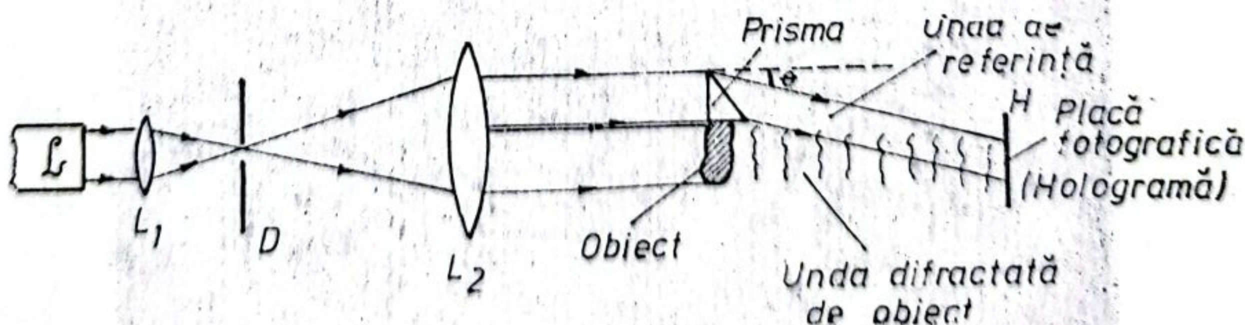


Fig. XIII.9

[1] Un fascicul telecentric este un fascicul paralel, adică un fascicul ale cărui raze au un punct comun la infinit.

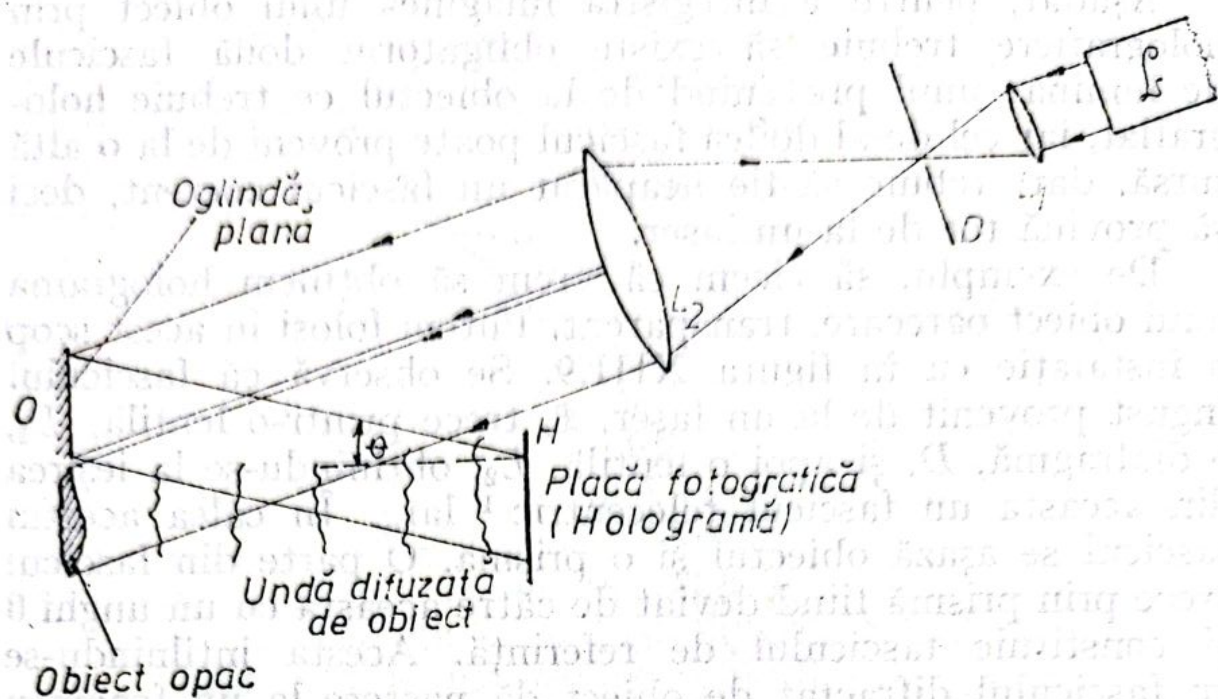


Fig. XIII.10

Ca exemplu vom da holograma din figura XIII.11, reprezentînd piesele de șah din figura XIII.12. Se vede că holograma nu prezintă nimic vizibil din piesele de șah, ci numai o figură de interferență.

În toate cazurile, după înregistrare, placa fotografică se developează, obținîndu-se holograma. Nu este necesară o nouă operație pentru a se obține pozitivul ca în fotogra-

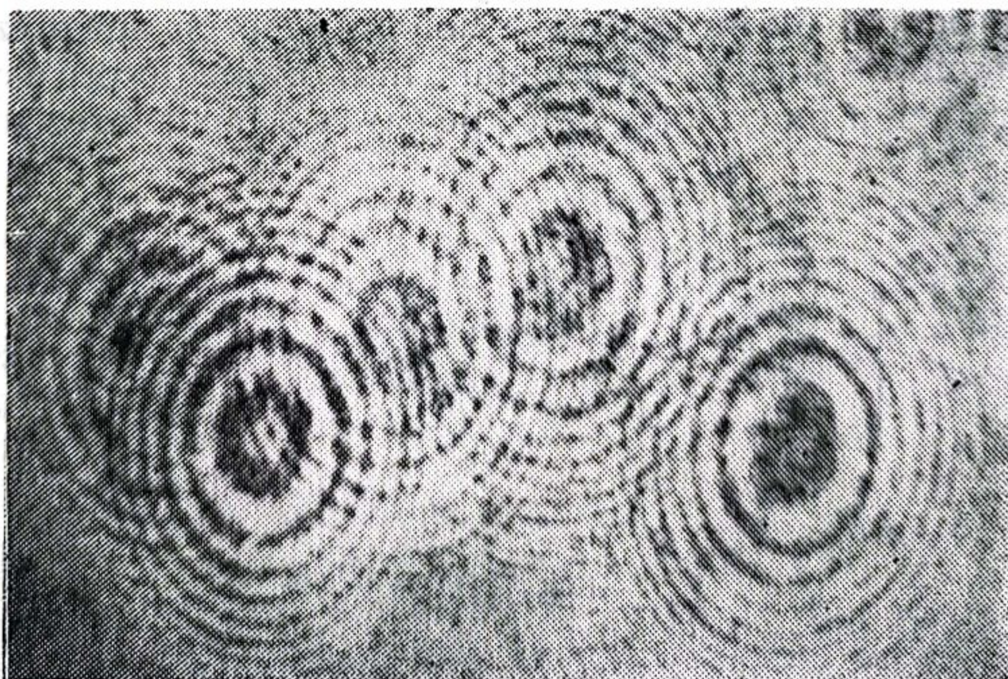


Fig. XIII.11

fierea obișnuită, deoarece holograma-pozitiv nu s-ar deosebi de holograma-negativ.

Să arătăm acum, cum se reconstruiește (cum se reconstituie) imaginea înregistrată pe hologramă, altfel spus, folosind limbajul de specialitate din tehnica informațiilor, cum se decodifică informațiile conținute codificat în hologramă. Pentru aceasta este suficient ca holograma să fie iluminată cu o lumină provenită de la un laser, fără a folosi lentile, filtre ori alte dispozitive optice, așa cum este arătat în figura XIII.13. Se vede că holograma transmite trei unde și anume: *unda restituită direct* prin *transmisie* (partea hașurată), care se propagă pe aceeași direcție cu unda incidentă, însă este ușor atenuată, o *undă deviată* în sus sub un unghi θ, care reprezintă unda difractată de obiect, atunci cînd s-a făcut holograma; ea dă naștere unei imagini virtuale. Această undă reconstituită este identică cu unda care ar proveni de la obiectul situat în I_v în lipsa hologramei. Dacă vom deplasa ochiul în interiorul undei reconstituite, în diverse poziții, vom avea impresii mereu diferite privitoare la pozițiile relative ale punctelor obiectului. Privind cu ambii ochi, înseamnă a privi din două puncte diferite; aceasta reprezintă vederea în spațiu, adică imaginea obiectului se vede în trei dimensiuni cu toate proprietățile obiectului: *relief*, *paralaxă* și *profunzime de cîmp*.



Fig. XIII.12

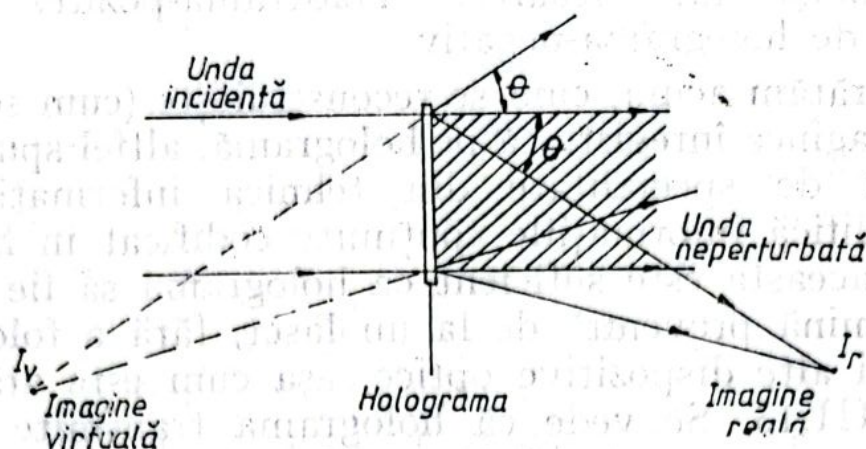


Fig. XIII.13

Figura XIII.12 reprezintă în același timp și imaginea reconstituită [1]. Efectele spațiale se văd clar (aranjamente diferite în spațiu). Reproducerile din figura XIII.12 au fost fotografiate din interiorul undei reconstituite.

A treia undă reconstituită este deviată în jos, sub unghiul θ și așa cum se vede razele sînt convergente (cînd razele corespunzătoare undei difractate de obiect sînt divergente). Datorită acestei unde se formează o imagine reală I_r a obiectului, fără intermediul vreunei lentile. Distanța de la această imagine reală pînă la hologramă este absolut egală cu distanța de la obiect la hologramă în timpul înregistrării. Imaginea I_r poate fi fotografiată fără a folosi vreun sistem optic (lentile), fiind suficientă numai o placă fotografică așezată într-un plan care să treacă prin I_r și perpendiculară pe axa fasciculului de raze.

Restituirea imaginilor poate avea loc oricînd, oricît de tîrziu după înregistrarea hologramei.

Este important că după orice hologramă originală se pot face copii, acestea din urmă avînd aceleași proprietăți ca și holograma originală. Interesant este faptul că numai cu o porțiune de hologramă se poate reconstitui obiectul în întregime. Se atenuează însă puterea de separare, adică nu se văd suficient de clar toate detaliile imaginii. Evident că în fotografia obișnuită o parte din fotografie nu redă imaginea în întregime. Pentru a obține întreaga imagine a obiectului trebuie să avem toate bucățile de fotografie.

[1] Imaginea reconstituită este identică cu obiectul și de aceea nu a fost dată de două ori figura XIII.12.

Pe o aceeași placă fotografică se pot înregistra, prin metode holografice, mai multe imagini, fiecare înregistrare făcîndu-se sub un anumit unghi, unghiurile fiind diferite între ele; la reconstituire, fasciculul laser trebuie să ajungă pe hologramă sub aceleași unghiuri ca și la înregistrare. De aici, posibilitatea, aparținînd numai tehnicii holografice, de a stoca informații multiple pe o suprafață relativ mică.

Figura XIII.14 reprezintă holograma imaginilor din figura XIII.15 a și b. Se observă, și în acest caz (ca și holograma din figura XIII.11, că holograma nu trădează, pentru ochiul nostru, nimic din ceea ce se vede pe figura XIII.15 a și b).

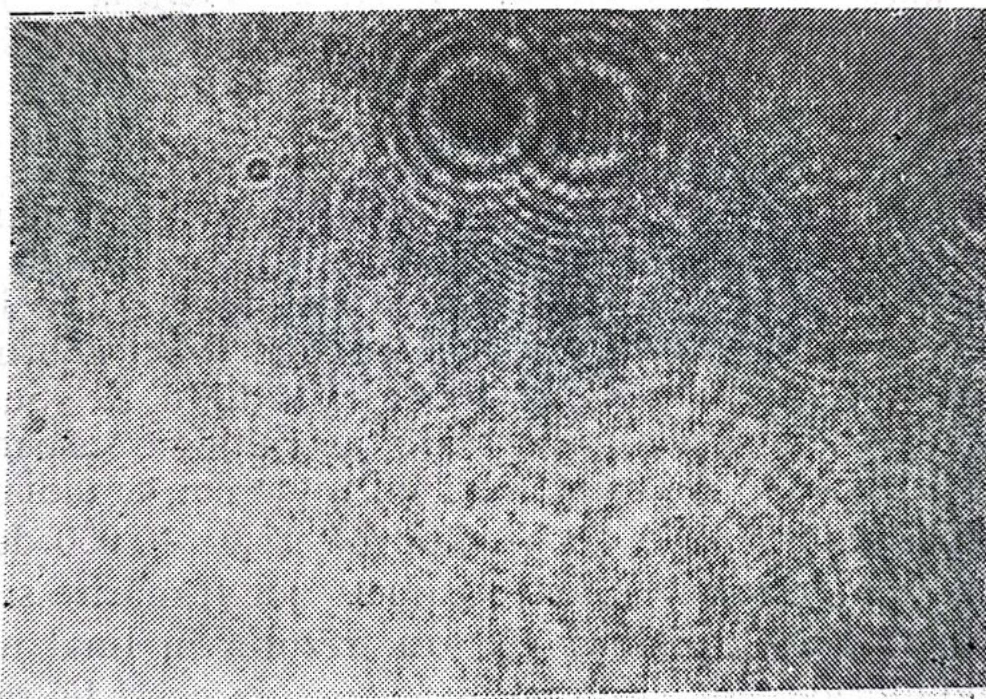


Fig. XIII.14

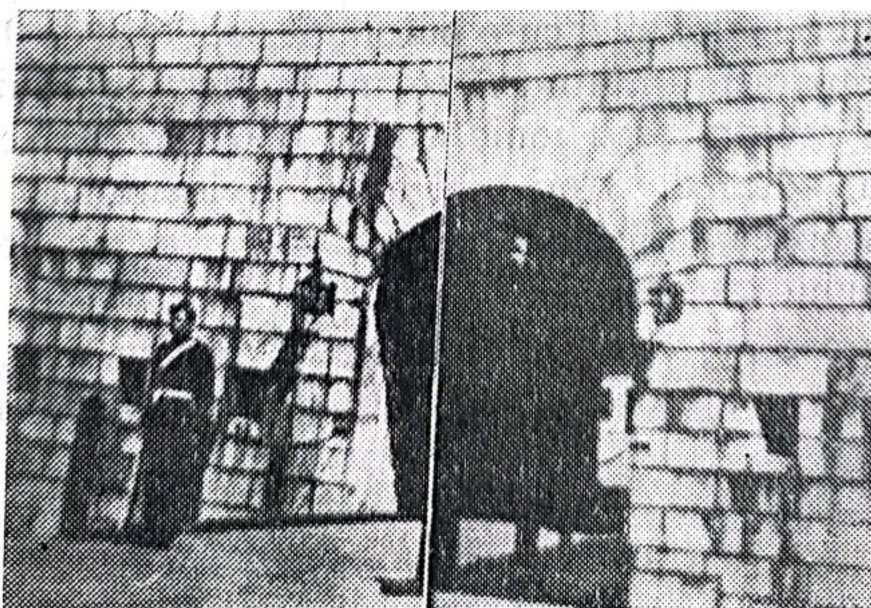


Fig. XIII. 15 a

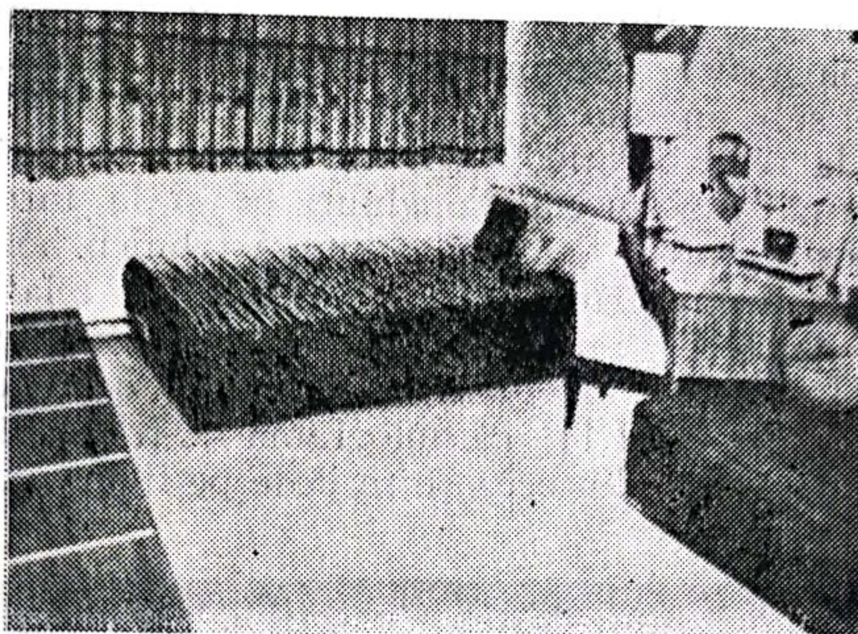


Fig. XIII.15 b

Imaginile obţinute prin metode holografice pot fi mărite, folosind la reconstituire o radiaţie cu lungime de undă mai mare decît lungimea de undă a radiaţiei utilizată la înregistrare. S-a rezolvat astfel, prin holografie, problema obţinerii imaginilor cu ajutorul microscopului cu radiaţii X. (Se ştie că pînă în prezent nu se cunosc materiale optice transparente pentru radiaţiile X). Folosind, deci, un microscop cu radiaţii X şi procedee holografice s-au obţinut măriri de 10 000 de ori. Ţinînd seama de faptul că hologramele pot fi mărite şi prin procedee obişnuite, pînă la 100 ori, rezultă în final măriri ale imaginilor de pînă la un milion de ori. În acest fel se preconizează construirea unui microscop cu radiaţii X, cu însuşiri cu totul remarcabile, cu o putere de separare de 0,1 nm [1]. Pentru comparaţie amintim că cel mai perfecţionat microscop electronic, protonic sau ionic atinge o putere de separare [2] de 0,8 nm, adică de 8 ori mai mică. Evident, că, folosind un microscop cu radiaţii X se vor putea obţine prin holografie imagini ale moleculelor sau ale atomilor.

În microscopia electronică se poate realiza înregistrarea hologramelor cu ajutorul fasciculului de electroni, iar reconsti-

---

[1] 1 nanometru (nm) = 0,000000001 m.

[2] Prin putere de separare, denumită şi putere de rezolvare, se înţelege distanţa cea mai mică, liniară sau unghiulară, ce poate să existe între două puncte, pentru ca ele să fie văzute distinct.

tuirea imaginii se face cu radiația laser, în acest fel, putîndu-se evidenția atomii din rețelele cristaline.

XIII.5. Cîte ceva despre holografia acustică

Principiul holografiei optice se aplică și undelor acustice. Obiectele sînt iradiate cu unde acustice sau unde ultrasonice coerente, în loc de unde luminoase, care pătrund și în interiorul corpurilor opace, permițînd astfel să se obțină imagini în trei dimensiuni ale interiorului acestora.

Principiul înregistrării unei holograme acustice este arătat în figura XIII.16. S_1 și S_2 reprezintă sursele ultrasonice, alimentate de același generator sau de două generatoare aflate în fază. O este obiectul a cărui hologramă vrem să o înregistrăm. Undele care pleacă de la S_1 sînt deformate cînd traversează obiectul O, în timp ce undele care pleacă din S_2, nestrăbătînd obiectul, nu sînt deformate. Cele două unde coerente (provenind de la S_1 și S_2) interferă și pe placa aparatului fotografic se înregistrează acest fenomen. În cazul că undele se propagă în interiorul unui lichid, ca în figură, interferența lor produce pe suprafața lichidului un sistem de riduri. Deformația suprafeței lichidului este în fiecare punct proporțională cu intensitatea acustică. În aceste condiții, suprafața lichidului constituie o veritabilă holo-

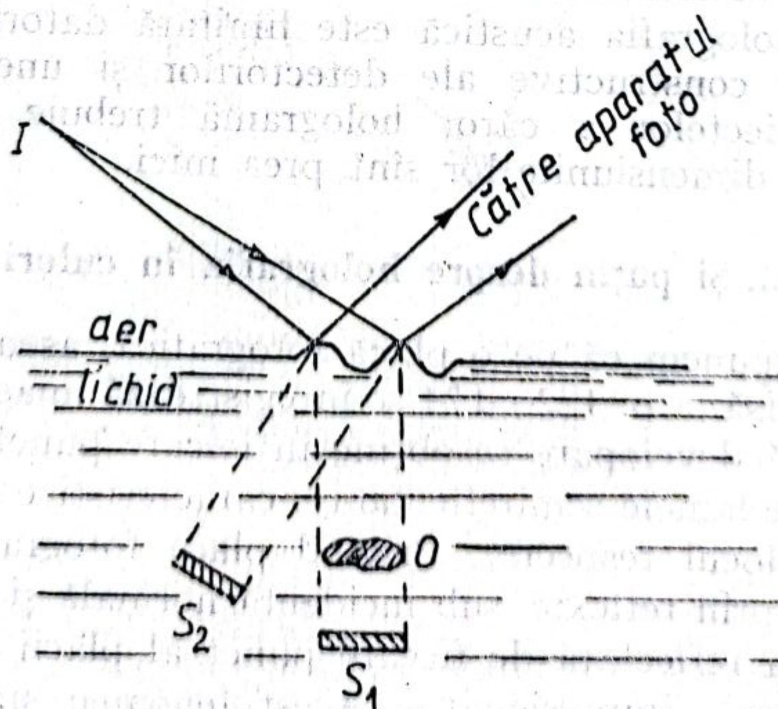


Fig. XIII.16

gramă şi se poate compara cu holograma optică. Suprafaţa lichidului, astfel ridată, este iluminată de sursa *I* şi fotografiată (fig. XIII.16). Fotografiind suprafaţa lichidului cu lumina de la sursa *I*, se poate obţine pe placă, în fiecare punct al ei, o intensitate luminoasă proporţională cu deformaţia suprafeţei lichidului.

După developare, placa fotografică este o veritabilă hologramă optică. Iluminînd holograma obţinută cu ajutorul unui fascicul de lumină coerentă, se observă o imagine în trei dimensiuni a interiorului şi a exteriorului obiectului. Trebuie să reţinem că lungimea de undă la reconstituire nu este aceeaşi ca la înregistrare. La reconstituirea imaginii se folosesc unde luminoase, în timp ce la înregistrare se folosesc unde ultrasonice.

În experienţa descrisă (v. fig. XIII.16) mediul în care se produc unde staţionare este un lichid. Însă holografia acustică se aplică şi cînd mediul este un gaz.

În holografia optică, aşa cum s-a arătat anterior se realizează interferenţa între undele difuzate sau difractate de obiect şi o undă de referinţă coerentă. *În holografia acustică* există însă posibilitatea suprimării *undei acustice de referinţă.*

Faţă de alte metode de formare a imaginilor sonice, holografia acustică prezintă următoarele avantaje: a) se folosesc sisteme optice şi electronice foarte bine puse la punct; b) informaţiile se pot prelucra pe cale optică sau folosind calculatoarele electronice.

Totuşi holografia acustică este limitată datorită particularităţilor constructive ale detectorilor şi uneori chiar datorită obiectelor a căror hologramă trebuie obţinută, atunci cînd dimensiunile lor sînt prea mici.

XIII.6. ... Şi puţin despre holografia în culori

Să presupunem că pe o placă fotografică, asemănătoare cu cea descrisă la p. 172—174 se înregistrează imaginea unui peisaj. După developare se obţine în fiecare punct al plăcii un sistem de lamele semireflectante, caracteristice radiaţiilor primite de locul respectiv. Privind placa fotografică după developare, prin reflexie, sub incidenţă normală şi în lumină albă, lumina reflectată de fiecare punct al plăcii reproduce culoarea care a impresionat-o. Acest fenomen stă la baza *holografiei în culori*.

În cazul holografiei în culori, vom admite existența în emulsia fotografică a lamelelor semireflectante de interferență dintre unda de la obiect și unda de referință. La înregistrare, emulsia este iluminată, de o parte de unda U care vine de la obiect și de cealaltă parte de unda de referință U_R. În figura XIII.17,a se arată cazul în care cele două unde sînt dirijate în sens invers. Lamelele semireflectante produse de undele staționare sînt paralele cu suprafața emulsiei fotografice, așa cum am arătat la fotografia în culori (Lippmann). Distanța dintre două lamele succesive este de o jumătate de lungime de undă. La restituire se obține o imagine virtuală dacă se iluminează holograma cu o undă U'_R identică cu U_R, folosită la înregistrare și se privește spre unda reflectată (fig. XIII.17, b).

Pentru a observa imaginea reală, holograma trebuie iluminată tot cu unda U'_R, dar așa cum arată figura XIII.17, c, adică unda U'_R este trimisă nu spre suport (placa propriu-zisă), ci spre emulsie. Se obține o imagine reală prin reflexie.

În toate cazurile arătate aici, dacă la restituire se iluminează cu lumină albă, imaginea este văzută în culorile

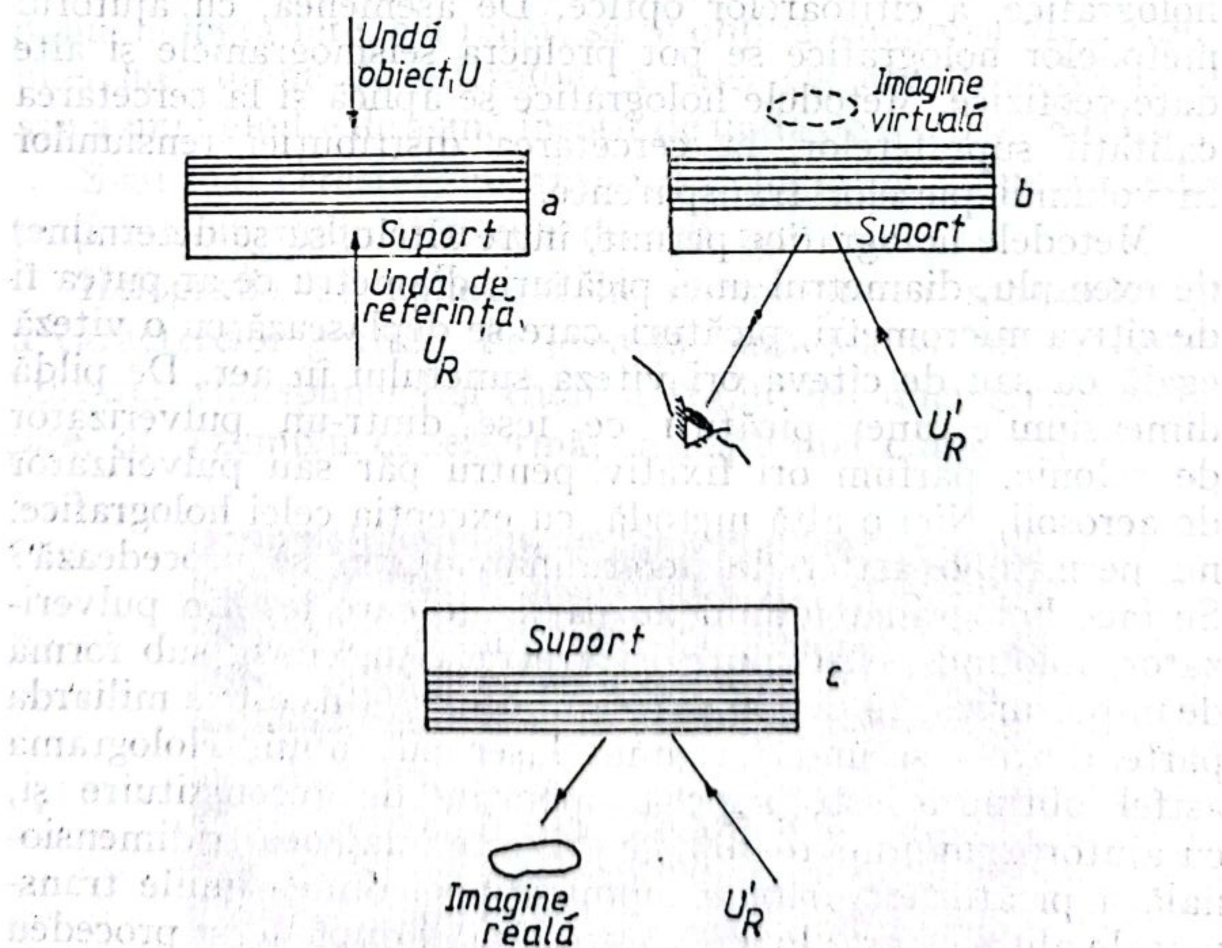


Fig. XIII.17

corespunzătoare lungimii de undă care a fost utilizată la înregistrare; toate radiațiile avînd celelalte lungimi de undă sînt distruse prin interferență. În cazul în care la înregistrare obiectul este iluminat cu lumină policromatică, alcătuită, de exemplu, din trei lungimi de undă diferite, atunci, așa cum a arătat Lippmann, undele staționare corespunzătoare lungimilor de undă diferite pot fi înregistrate pe o aceeași emulsie fotografică. La restituire, iluminînd holograma cu lumină albă, se va vedea o imagine în culori, posedînd toate proprietățile obiectului: relief, paralaxă, profunzime de cîmp.

În prezent se folosește, în holografie, și lumina albă atît la înregistrare, cît și la restituire.

XIII.7. Să facem cunoștință cu aplicațiile holografiei

Dintre multiplele aplicații vom menționa cinematograful în relief care nu peste multă vreme va intra în exploatare largă; apoi televiziunea holografică.

Metodele holografice au permis construirea de spectroscoape holografice fără fantă, realizarea interferometrelor holografice, a cititoarelor optice. De asemenea, cu ajutorul metodelor holografice se pot prelucra seismogramele și alte date geofizice. Metodele holografice se aplică și la cercetarea calității suprafețelor, la cercetarea distribuției tensiunilor în volumul pieselor transparente.

Metodele holografice permit, între altele, să se determine, de exemplu, diametrul unei picături, diametru ce ar putea fi de cîțiva micrometri, picături care se deplasează cu o viteză egală cu sau de cîteva ori viteza sunetului în aer. De pildă dimensiunile unei picături ce iese dintr-un pulverizator de colonie, parfum ori fixativ pentru păr sau pulverizator de aerosoli. Nici o altă metodă, cu excepția celei holografice, nu permite o astfel de determinare. Cum se procedează? Se face holograma jetului de particule care ies din pulverizator, folosind pentru înregistrare radiația emisă sub formă de impulsuri de 20 sau 30 ns (reamintim că 1 ns este a miliarda parte dintr-o secundă) a unui laser cu rubin. Holograma astfel obținută este supusă operației de reconstituire și, cu ajutorul unui microscop, se privește imaginea tridimensională a picăturilor, determinîndu-se apoi dimensiunile transversale ale acestora. Primele determinări după acest procedeu au fost făcute după anul 1965.

Una dintre cele mai importante aplicații industriale ale holografiei o constituie, însă, *analiza nedestructivă* a obiectelor. Această metodă de analiză are la bază *interferometria holografică*.

Pentru a ne da seama de modul în care decurge analiza nedestructivă, vom apela la exemplul următor: să admitem că trebuie făcută analiza unui pneu de autovehicul. Pentru aceasta trebuie făcută holograma pneului. De o parte și de alta a pneului se așază cîte o oglindă în care se văd părțile laterale. Se face acum holograma pneului. Apoi se trimite spre pneul în cauză, un curent de aer cald și pe aceeași placă fotografică se înregistrează holograma în acest caz. Dacă franjele apar pe hologramă dispuse uniform și distanțele între ele sînt egale, atunci înseamnă că pneul respectiv a fost umflat uniform și că nu prezintă defecte. În cazul, însă, că pe hologramă franjele sînt altfel dispuse, în comparație cu primul caz, pneul prezintă defecte. Lățimea franjelor este de cîțiva micrometri, suficientă însă pentru a evidenția defectele ce le prezintă pneul.

Printr-un procedeu asemănător, cu dublă expunere, adică dublă holografiere, s-a reușit să se obțină imaginea vibrațiilor unei membrane de microfon, a unei chitare (fig. XIII.18) sau a unui glonte de armă însoțit de unda de șoc (fig. XIII.19).

S-au mai cercetat, cu ajutorul holografiei, infuzorii existenți într-un milimetru cub de apă murdară.

Holografia se aplică și la recunoașterea schemelor și a caracterelor grafice. Pe această bază s-a preconizat posibilitatea transpunerii și chiar a traducerii unei scrieri oarecare, de exemplu cuneiformă, într-o limbă cunoscută.

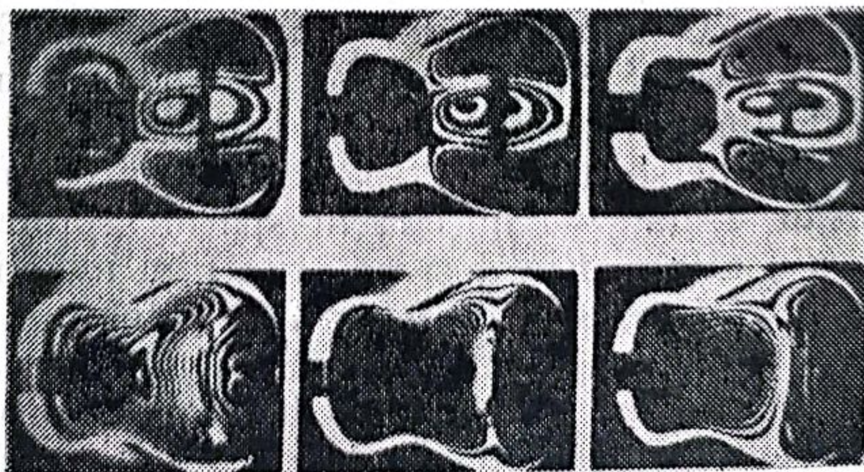


Fig. XIII.18

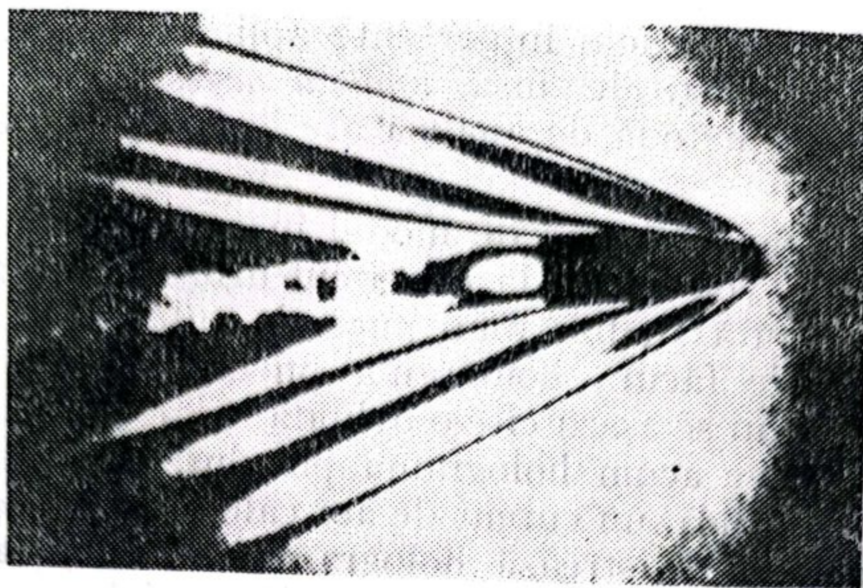


Fig. XIII.19

În prezent se lucrează intens la *holografia panoramică*. preconizată de însuși creatorul holografiei, Dennis Gabor. Se speră să se realizeze holograme cu profunzime de cîmp pînă la infinit, nu de numai cîțiva metri cum se realizează acum.

Se mai lucrează la realizarea cinematografului în trei dimensiuni și a spectroscopiei tridimensionale. Dennis Gabor este foarte optimist în această privință. Este convins că realizarea acestora este posibilă.

Dar care ar fi avantajul cinematografului în relief pe baza holografiei? Avantajul ar fi că pe o aceeași placă fotografică, s-ar putea înregistra o serie de holograme ale obiectului în mișcare, fiind suficient și necesar pentru aceasta, să se modifice de fiecare dată, atît la înregistrare, cît și la redare unghiul de incidență al fasciculului de referință.

Nu de mult, la Moscova au avut loc lucrările Congresului Uniunii Internaționale a asociațiilor de tehnică cinematografică (UNIATEC). Într-una din ședințe, oamenii de știință sovietici au prezentat participanților la Congres primul film holografic din lume. Atracția și marea curiozitate a filmului a fost aceea că personajele nu apăreau pe un ecran. Totuși ele se vedeau, trăiau, se mișcau în spațiu, apropiate, dar fără a putea fi atinse. Era deci un prim film în relief. Menționăm faptul că înregistrarea a fost făcută folosind radiația monocromatică roșie a unui laser cu rubin, iar la redare a fost folosită radiația galbenă de la o lampă cu vapori de mercur. Filmul era alb-negru. În prezent se lucrează la un film holografic color.

Holografia este folosită pentru serviciile muzeelor. Se fac hologramele exponantelor celor mai valoroase, a colecţiilor din cele mai mari muzee din lume, care sînt foarte greu de transportat, reclamînd condiţii speciale, şi sînt prezentate în diverse alte muzee din lume. Hologramele bine executate nu pot fi deosebite de obiectele originale pe care le reprezintă.

Televiziunea holografică, este o altă aplicaţie a holografiei şi reprezintă transmiterea de imagini tridimensionale cu ajutorul hologramelor. Marele avantaj constă în faptul că informaţiile transmise, cu ajutorul hologramelor, sînt de 300 000 de ori mai multe decît în cazul obişnuit al televiziunii.

Un exemplu edificator în legătură cu stocarea holografică a informaţiei: o placă holografică KODAK are dimensiunile 100 × 125 mm, şi rezoluţia 2 200 linii/mm. Ce înseamnă aceasta? Aceasta ne spune că pe lăţime se pot înregistra 100 × 2 200 franje distincte, iar pe lungime, 125 × 2 200 franje distincte. Pentru a obţine cantitatea de informaţie în unităţi binare, adică în *biţi*, se face calculul următor:

$$100 \times 125 \times (2\,200)^2 = 6 \cdot 10^{10} \text{ biţi}.$$

Dar ce înseamnă acest număr astronomic? Înseamnă că pe o astfel de placă holografică se pot înregistra $6 \cdot 10^{10}$ puncte distincte, adică şaizeci de miliarde de puncte distincte. Să vedem acum cîte imagini de televiziune se pot înregistra pe o astfel de placă. O imagine de televiziune este formată din $625 \times 625 = 4 \cdot 10^5$ puncte distincte. Înseamnă că pe o placă holografică KODAK se vor înregistra

$$6 \cdot 10^{10} : 4 \cdot 10^5 = 1{,}5 \cdot 10^5 \text{ imagini}.$$

Aşadar, pe o astfel de placă fotosensibilă se vor înregistra un număr maxim de imagini egal cu 1 500 000. Însă, o imagine TV stocată holografic acoperă o suprafaţă egală cu $100 \times 125 : 1{,}5 \cdot 10^5$ mm². Considerînd întreaga suprafaţă a plăcii acoperită ordonat cu microholograme şi făcînd calculul corespunzător, reiese că pe o astfel de placă se poate înregistra un întreg film a cărui durată de vizionare ar fi de *o oră şi patruzeci de minute*.

Din acest exemplu numeric rezultă clar avantajul de necontestat al stocării holografice a informaţiei şi deci al stocării imaginilor pe o placă TV.

Holografia se aplică cu succes în microscopie (fig. XIII.20). Lumina care pleacă de la laserul $\mathfrak{L}$ întîlneşte lama semiargintată L_1, fasciculul scindîndu-se în două părţi: o parte, *(1)*, ajunge pe oglinda O_1 şi după reflexie pătrunde

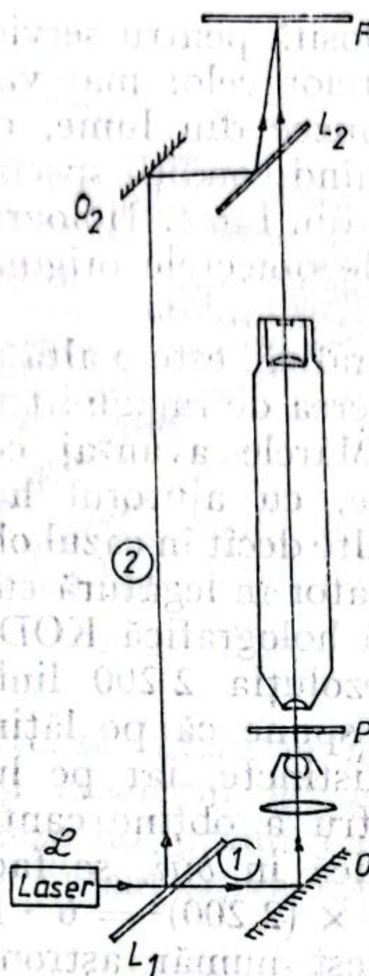


Fig. XIII.20

în microscop prin preparatul care trebuie holografiat, ajungînd la placa fotografică F. Cea de a doua parte a fasciculului *(2)*, care constituie fasciculul de referință (fondul coerent), întîlnește oglinda O_2, iar după reflexie pe aceasta întîlnește lama semiarginată L_2; după această nouă reflexie ajunge la placa F. Fasciculele *(1)* și *(2)* interferă (de fapt undele corespunzătoare acestor raze interferă), înregistrîndu-se pe placa F sistemul de franje. Placa F se developează obținîndu-se, astfel, holograma. Apoi holograma este proiectată cu un aparat special de proiecție, putîndu-se, astfel, explora întregul volum înregistrat.

Dacă la proiectare se folosește o radiație cu lungime de undă mai mare decît la înregistrare, atunci se obține o mărire a imaginilor. De exemplu, dacă ar exista un microscop care să permită înregistrarea hologramelor cu ajutorul razelor X, atunci folosind la restituire o radiație cu lungime de undă din spectrul vizibil, imaginile ar apare foarte mult mărite (de circa zece mii de ori).

Dar există și se dezvoltă în aceeași măsură holografia sonică și holografia cu ajutorul undelor de radio. Astfel, au

fost create sisteme de *sonoviziune* și *radioviziune*, adică sisteme care folosesc undele acustice și undele de radio.

Să presupunem că se sondează cu unde acustice apa mării, pe toată adîncimea ei. Semnalele reflectate sînt astfel prelucrate încît se obține imaginea integrală a fundului marin, în volume și culori, așa cum apare el pentru un observator care privește fundul mării prin hubloul unui submarin. Superioritatea acestei metode este mare în comparație cu altele clasice.

Pentru studierea structurii interne a corpului omenesc se folosesc radiațiile X. Însă iradierea repetată sau îndelungată a organismului viu cu aceste radiații dăunează corpului omenesc. Pentru evitarea acestui mare neajuns se folosește *sonoviziunea*. Sonoviziunea reprezintă o metodă nouă de investigare a organismului omenesc sau a unui corp folosind un aparat denumit *holograf*, utilizîndu-se în acest scop ultrasunetele. Aparatul permite să se descopere cu mai multă ușurință tumorile, imaginile acestora fiind date în relief; în acest fel se poate preciza locul și mărimea acestora, știut fiind că ultrasunetele sînt inofensive pentru organismul viu.

Cu prilejul aselenizării navei cosmice „Apollo 15" s-a demonstrat posibilitatea „vederii" la distanțe foarte mari. De pe Pămînt au fost emise unde de laser care s-au reflectat pe Lună. Cu ajutorul undelor reflectate s-a obținut o hologramă a suprafeței lunare. Imaginile date de această hologramă au fost comparate cu imaginile văzute prin telescop și cu fotografiile făcute de cosmonauți. În acest fel s-a verificat exactitatea imaginilor holografice. Se poate spune că holograma obținută a permis „vederea" cu mare exactitate a peisajului lunar.

Holografia reprezintă singurul mijloc de înregistrare instantanee a proceselor volumetrice, ca, de exemplu, mișcarea fluxurilor de aer în conducte aerodinamice, ejectarea gazelor din motoarele cu reacție, procesele care însoțesc arderea și explozia.

În prezent se obțin holograme și cu ajutorul radiațiilor din domeniul invizibil al spectrului.

Deoarece costul laserelor este ridicat, folosirea hologramelor este încă limitată. Se preconizează că în următorii 5—10 ani, se va perfecționa și se va ieftini aparatura necesară obținerii hologramelor, încît acestea vor fi puse la îndemîna fotografilor amatori.

Capitolul XIV

ÎN CARE AUTORUL ÎNCEARCĂ SĂ EXPLICE CUM A FOST DETERMINATĂ VALOAREA FANTASTICĂ A VITEZEI LUMINII: 300 000 km/s

XIV.1. Galilei și cei doi experimentatori

Prima încercare științifică de determinare a vitezei luminii, în aer, o face Galileo Galilei, în anul 1607. El a folosit o metodă similară cu cea folosită pentru determinarea vitezei sunetului. Cum a procedat? Simplu! Doi observatori, O_1 și O_2, au fost așezați la o distanță D, foarte mare, unul de altul, fiecare avînd asupra sa un felinar prevăzut cu un obturator mobil și un ecran opac (fig. XIV.1). La un moment dat unul din observatori de exemplu O_1 îndepărta ecranul. Celălalt observator O_2, îndepărta și el ecranul obturator de la felinarul său, imediat ce vedea lumina de la felinarul lui O_1. Experiența a fost repetată de mai multe ori și de fiecare dată, în ipoteza că cei doi observatori ar fi reacționat instantaneu la semnalul luminos și că lumina ar fi avut aceeași viteză de propagare în ambele sensuri ($O_1 \leftrightarrows O_2$) drumul străbătut de lumină a fost $2D$ ($O_1O_2 + O_2O_1$) observatorii trebuind să măsoare intervalul de timp t în care lumina străbătea drumul dus-întors, $2D$, adică din momentul trimiterii semnalului luminos și pînă în momentul întoarcerii lui. Din împărțirea lui $2D$ la t trebuia să rezulte viteza luminii. Dar nu s-a obținut nici un rezultat. De ce? În primul rînd cei doi observatori nu puteau reacționa instantaneu la semnal. În al doilea rînd, din cauza uriașei valori a vitezei de propagare a luminii, intervalul de timp t era extrem de mic pentru orice distanță realizabilă între observatori și deci nu putea fi măsurat cu mijloacele de atunci. Dar din aceste încercări Galilei a conchis că viteza luminii, chiar dacă este finită, are o valoare foarte mare.

Important de reținut este faptul că intervalul de timp t reprezenta de fapt timpul folosit de observator pentru a reacționa la semnal. De aceea, pentru a înlătura erorile introduse de către unul dintre observatori, în locul unuia dintre

ei a fost folosită o oglindă care reflecta lumina. Acest principiu a fost folosit, cum vom vedea mai departe, în aproape toate celelalte încercări inclusiv cele moderne, de laborator, pentru determinarea vitezei luminii, folosindu-se evident mijloace tot mai perfecționate, mai precise de măsurare a timpului chiar și în cazul distanțelor destul de mici.

Importanța experienței lui Galilei constă în faptul că este prima încercare științifică de determinare a vitezei luminii, ajungînd la concluzia că această viteză trebuie să fie finită și foarte mare.

XIV.2. Römer are „insomnii" și caută să-și alunge „plictiseala" privind firmamentul înstelat

În anul 1676, la observatorul din Paris, Römer privea timp îndelungat bolta cerească, studiind planeta Jupiter și sateliții săi (pe atunci se cunoșteau numai 4 sateliți; astăzi se cunosc 14 sateliți). Dar nu numai la observator studia el cerul, ci și acasă privind printr-o lunetă instalată chiar în fereastra camerei sale. El a urmărit intrarea primului satelit (pe acesta l-a studiat mai atent) în conul de umbră lăsat de planetă (fig. XIV.1), și a observat că intervalul dintre două intrări succesive nu se menținea constant, ci creștea mereu; anume, trecea printr-un maximum atunci cînd cele două planete se aflau în poziția P_2J_2, față de poziția P_1J_1, cînd intervalul de timp dintre două eclipse era minim. Römer a explicat această diferență astfel: în cazul în care planetele se găsesc în poziția P_2J_2, lumina trebuie să parcurgă un spațiu suplimentar, față de situația P_1J_1, spațiu egal cu diametrul orbitei terestre. Perioada de revoluție a acestui satelit era de 42 h 48 min 46 s (aproximativ 1,75 zile). Intervalul de timp dintre două eclipse succesive a fost măsurat destul de precis, în ambele situații, P_1J_1 și P_2J_2, întîrzierea maximă obținută de Römer fiind de 1 320 s. Diametrul orbitei cunoscut atunci avea valoarea 299 000 000 km; din împărțirea acestei valori la 1 320 secunde, Römer a obținut pentru viteza luminii valoarea 215 000 km/s și, evident, nu este prea departe de valoarea pe care o cunoaștem astăzi. Importanța obținerii acestei valori este foarte mare, în primul rînd pentru că s-a obținut pentru prima dată o valoare sigură pentru viteza luminii și destul de apropiată de valoarea reală și în al doilea rînd s-a dovedit că prezumția lui Galilei era adevărată.

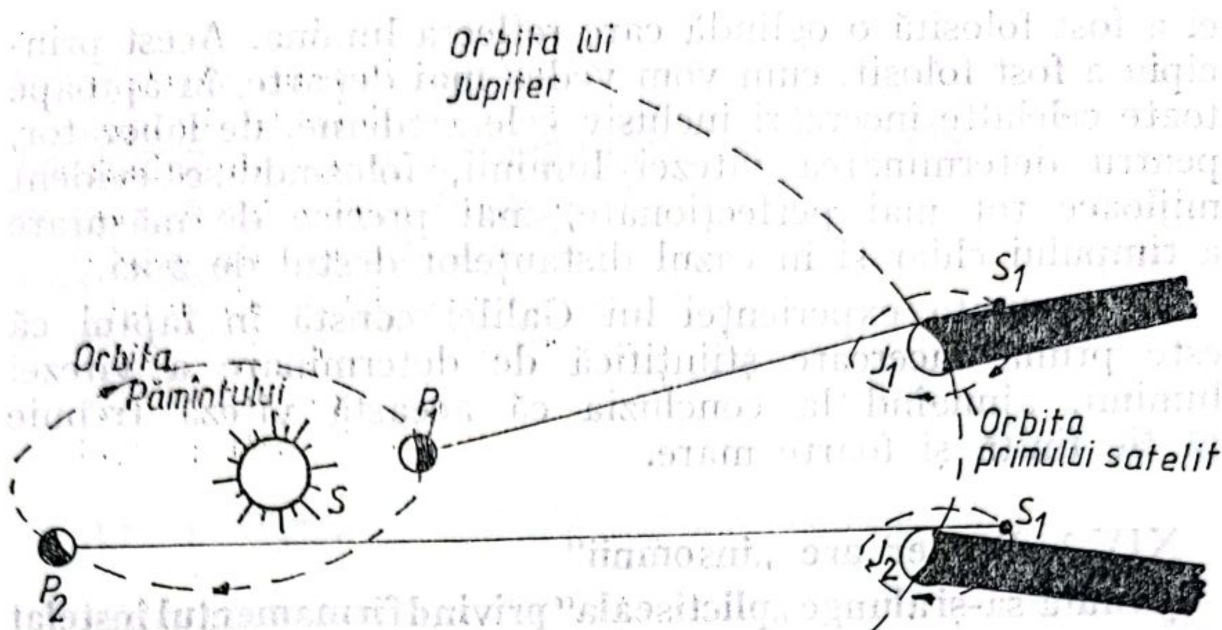


Fig. XIV.1

Mult mai tîrziu s-a obținut pentru timpul de întîrziere valoarea 994 s, rezultînd pentru viteza luminii 301 000 km/s.

XIV.3. Fizeau demonstrează că poate obține și în condiții terestre ceea ce a obținut Römer privind firmamentul

Folosind o metodă care are la bază principiul metodei lui Galilei, Fizeau, în anul 1849, reușește să determine pentru prima dată viteza luminii în condiții terestre. Fizeau înlocuiește unul din observatori, din experiența lui Galilei, cu o oglindă plană, iar ecranul obturator printr-o roată dințată care se mișcă cu o viteză (unghiulară) mare. Datorită mișcării roții, fasciculul luminos este lăsat uneori să treacă, alteori nu (fig. XIV.2). Distanța dintre oglinda *O* și roata *R* era de 9 km, roata fiind instalată în Montmartre, la periferia Parisului, iar oglinda în casa părintească din Suresnes.

Se pune în mișcare roata *R*. În timpul în care lumina parcurge drumul *ROR*, roata se rotește cu un anumit unghi care se poate măsura. Dacă în acest timp roata se mișcă în așa fel încît în calea razei de lumină ajunge dintele vecin golului prin care a trecut lumina, atunci observatorul vede

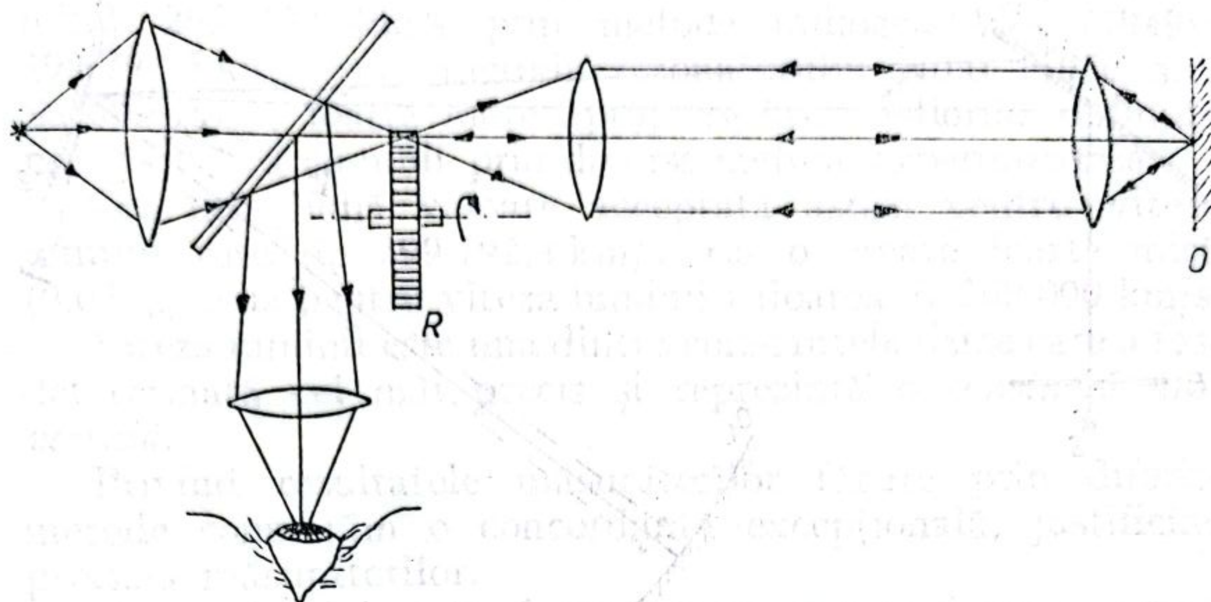


Fig. XIV.2

un cîmp întunecos. Dacă prin mișcarea roții R, în calea razei de lumină ajunge un gol, observatorul vede un cîmp luminos.

Cunoscînd numărul dinților roții, frecvența ei (de rotație) și distanța dintre R și O se obține viteza luminii. Fizeau a obținut 315 000 km/s. Ulterior, în 1902, Perrotin obține cu această metodă 299 870 km/s, iar, în 1937, Anderson obține 299 793,1 km/s.

XIV.4. Foucault nu se lasă mai prejos

Foucault determină viteza luminii în aer și în apă, în anul 1862, folosind o instalație ca aceea din figura XIV.3. Așa cum se vede, aceasta este alcătuită dintr-o oglindă concavă O_1, o oglindă plană O_2 și o lamă de sticlă semiargintată L. De la sursa S pleacă o rază de lumină care întîlnind lama L, se reflectă parțial, raza reflectată ajungînd la oglinda O_2 unde se reflectă ajungînd la O_1. Aici, după reflexia pe oglinda concavă, O_1, lumina vine către oglinda O_2 și suferind o nouă reflexie ajunge la L, unde se manifestă sub forma unui spot luminos. În timp ce lumina parcurge drumul $O_2O_1O_2$, egal cu de 2 ori raza oglinzii, O_2 se rotește cu un anumit unghi α, iar raza reflectată cu un unghi de două ori mai mare (2α) și deci spotul va apărea în alt loc pe lama semiarginată, L.

Cunoscînd raza R a oglinzii O_1, unghiul de rotire al lui O_2 și mărimea deplasării spotului, se determină viteza luminii. Cu această metodă Foucault obține pentru viteza luminii

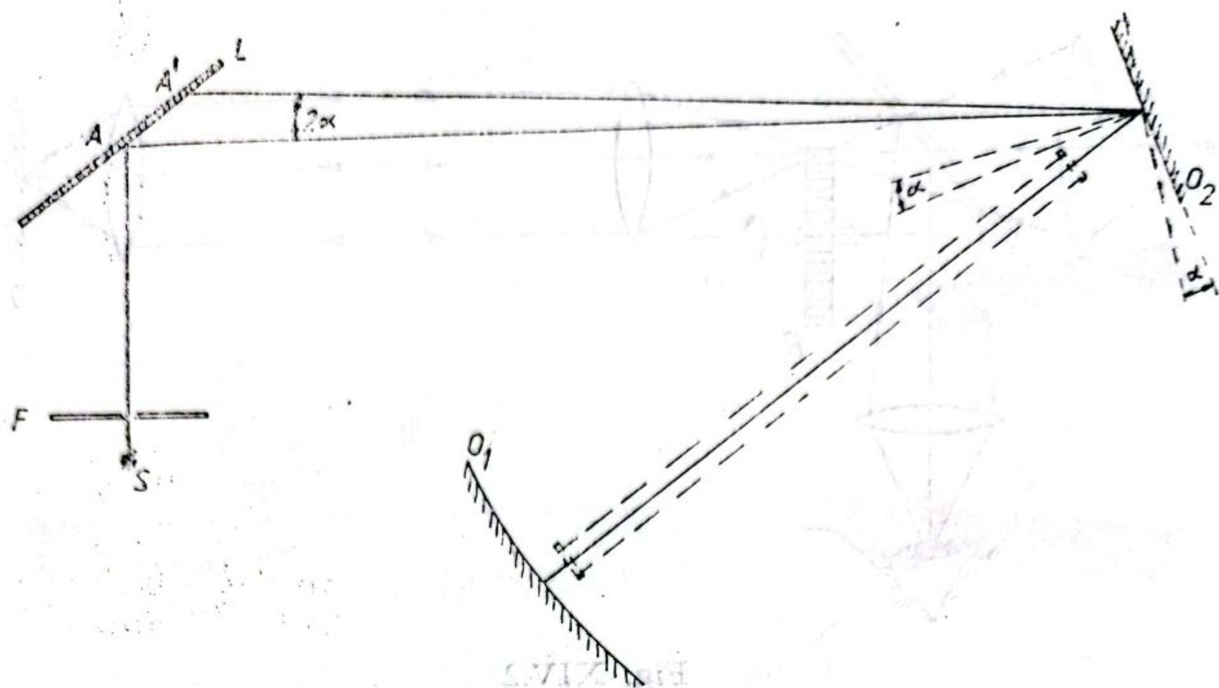


Fig. XIV.3

valoarea de 298 000 km/s. El a așezat apoi între O_1 și O_2 un tub cu apă și a determinat viteza luminii găsind că, în apă, lumina se propagă cu o viteză mai mică decît în aer.

Acest rezultat era în dezacord cu teoria lui Newton, după care viteza în apă trebuia să fie mai mare decît în aer. Rezultatul lui Foucault însă era în acord cu teoria ondulatorie a luminii, teorie care repurtase deja un succes deplin. Cu toate că rezultatele acestei experiențe au venit prea tîrziu, experiența este considerată totuși crucială *(experimentum crucis)*, deoarece a demonstrat, o dată în plus, care din cele două teorii privind natura luminii — corpusculară și ondulatorie — corespunde realității; ea a confirmat teoria ondulatorie.

XIV.5. Michelson aduce precizări

În anul 1926, Michelson folosește o nouă metodă pentru determinarea vitezei luminii, cunoscută în literatura de specialitate sub denumirea de *metoda prismei rotitoare*. Michelson folosește două oglinzi concave instalate pe vîrfurile a doi munți, Wilson și St. Antonio, în California, distanța între ele fiind de 35,4 km. Între cele două oglinzi se află o prismă octogonală cu fețe foarte bine lustruite și cîteva oglinzi plane. Cu această metodă el obține 299 796 km/s.

În anul 1932 reia experiențele, modificate puțin, și obține pentru viteza luminii valoarea 299 794 km/s.

S-au mai obținut următoarele valori pentru viteza luminii: 299 792 km/s prin metode radiogeodezice (1949); 299 792,5 km/s prin metoda rezonatorului vidat (1950) ș.a. Se observă o foarte mare apropiere între valorile obținute pentru viteza luminii prin diverse metode experimentale.

Cea mai bună valoare acceptată astăzi pentru viteza luminii este de 299 792,4 km/s. Cu o eroare foarte mică (0,03%) se ia pentru viteza luminii valoarea de 300 000 km/s.

Viteza luminii este una dintre constantele fizice care a fost determinată cel mai precis și reprezintă o *constantă universală*.

Privind rezultatele măsurătorilor făcute prin diferite metode constatăm o concordanță excepțională, justificînd precizia măsurătorilor.

Viteza luminii este foarte mare, cea mai mare viteză cunoscută pînă în prezent. Să dăm cîteva exemple în legătură cu viteza luminii. De la Lună lumina vine în timp de 1,27 s, de la Soare în aproximativ 8 minute (8 min și 12 s), iar de la cea mai apropiată stea în 4 ani și 6 luni. Aceasta înseamnă că, în acest din urmă caz lumina „călătorește" prin spațiul interastral 4 ani și 6 luni pînă ajunge la ochiul nostru, iar de la alte stele vecine în mai mulți ani. De aceea Eminescu spune în poezia sa „La steaua":

La steaua care-a răsărit
E-o cale-atît de lungă,
Că mii de ani i-a trebuit
Luminii să ne-ajungă.

Poate de mult s-a stins în drum
În depărtări albastre,
Iar raza ei abia acum
Luci vederii noastre.

Icoana stelei ce-a murit
Încet pe cer se suie;
Era pe cînd nu s-a zărit,
Azi o vedem, și nu e.

Într-adevăr, sînt stele pe care le vedem, dar în timpul cît lumina se propagă înspre noi, ele pot să-și înceteze existența, căci și stelele se nasc, evoluează și apoi se sting.

Capitolul III

ÎN CARE CITITORII SÎNT CONDUȘI PE DRUMUL CE DUCE SPRE TELEFONIA MODERNĂ

Capitolul IV

ESTE BINE ȘI NECESAR SĂ ȘTIM...

Capitolul V

CARE SE PRETINDE EXHAUSTIV...

Capitolul VI

ALTE PROBLEME ÎN LEGĂTURĂ CU OCHII ȘI VEDEREA

Capitolul VII

DESPRE MOZAICURI ȘI RASTERE OPTICE

Capitolul VIII

ÎN CARE SE VORBEȘTE DESPRE STRATURI SUBȚIRI, ÎN GENERAL ȘI ÎN PARTICULAR

Capitolul IX

ÎN CARE SE ARATĂ CUM S-A AJUNS LA „CARTEA DE VIZITĂ" A SUBSTANȚELOR

Capitolul X

ÎN CARE SE ARATĂ CUM S-A AJUNS DE LA CINEMATOGRAFUL MUT LA CINEMATOGRAFUL SONOR

Capitolul XI

O „CATASTROFĂ"? DA! DAR ULTRAVIOLETĂ

Capitolul XII

ÎN CARE VOM EFECTUA O INCURSIUNE ÎN LUMEA CRISTALELOR

Capitolul XIII

DE LA APARATUL FOTOGRAFIC LA APARATUL HOLOGRAFIC

Capitolul XIV

ÎN CARE AUTORUL ÎNCEARCĂ SĂ EXPLICE CUM A FOST DETERMINATĂ VALOAREA FANTASTICĂ A VITEZEI LUMINII: 300 000 km/s.

ÎN EDITURA ALBATROS

au apărut :

FLORICA T. CÂMPAN

POVESTIRI CU PROPORȚII ȘI SIMETRII

●

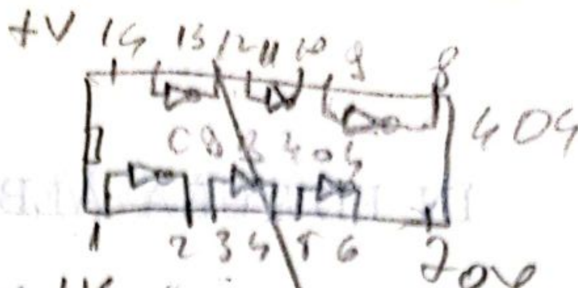
MELANIA GUȚUL-VĂLUȚĂ — CRISTINA MANDRAVEL

STRUCTURA ELECTRONICĂ A ATOMILOR
(Baza pentru înțelegerea fenomenelor chimice)

●

AL. ISAIC-MANIU

ÎN CĂUTAREA OPTIMULUI



LM 311 – 1

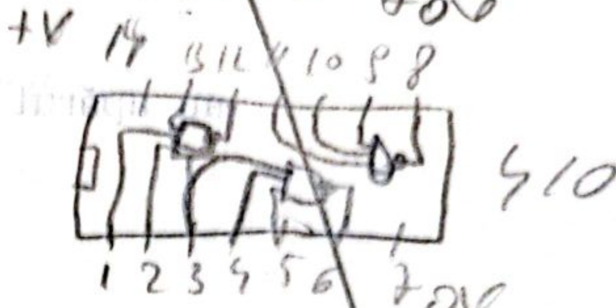
CDB 473 – 3

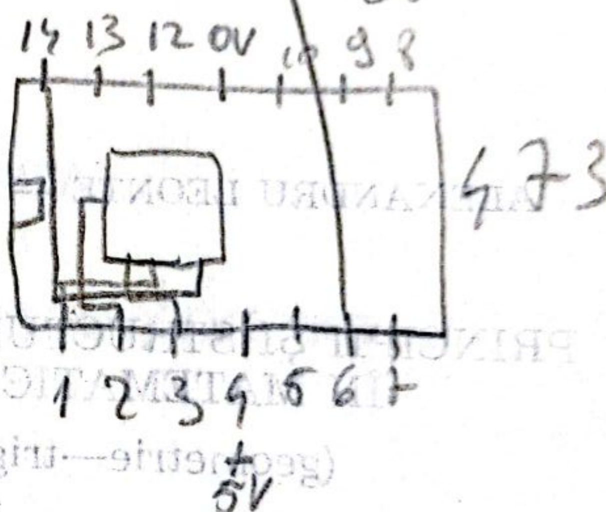
CDB 480 – 8

CDB 410 – 5

CDB 404 – 4

CDB 495 – 2





PRACTICA ELECTRO AMATOR

Lector : G. FOLESCU
Tehnoredactor : GABRIELA ILIOPOLOS

Bun de tipar : 14-II-1986. Apărut : 1986.
Comanda nr. 2481. Coli de tipar 13.

Tiparul executat sub comanda nr. 707, la
Întreprinderea Poligrafică „13 Decembrie 1918"
Str. Grigore Alexandrescu nr. 89—92
București,
REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA





O călătorie în lumea celor mai interesante domenii ale opticii, care prezintă multiple aplicaţii în tehnică, precum şi în realizarea multor dispozitive de amuzament.

Printre temele lucrării menţionăm: „Cum se generează o avalanşă de fotoni?“, „Cum văd înotătorii sub apă?“, „Transmiterea mesajelor confidenţiale“, „Iluziile optice“, „Oglinzile reci“, „Straturi antireflex şi optica albastră“, „Cristalele lichide“, „Holografia în culori“, „Holografia acustică“ etc.